

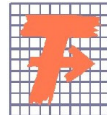
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2010

PETR ARCHALOUS

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: 3106T013 Management jakosti

**TRANSPORT VLHKOSTI SENDVIČOVÝM
MATERIÁLEM HASIČSKÝCH UNIFORM**
**TRANSPORT OF HUMIDITY THROUGH SANDWICH
MATERIAL OF FIRE-FIGHTING GARMENTS**

Petr Archalous

KHT-008

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu...106

Počet obrázků18

Počet tabulek..... ..9

Počet grafů13

Počet stran příloh...10

Zadání diplomové práce

(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 1.12.2010

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli informace pro tvorbu mé diplomové práce. Především mé vedoucí práce Ing. Pavle Těšinové Ph.D za odborné vedení. Dále prof. Ing. Luboši Hesovi DrSc. za konzultace a věcné připomínky k obsahu diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá přestupem vlhkosti sendvičovým materiálem hasičských uniforem, které vyrábí firma Deva F-M. Teoretická část se zabývá přestupem vlhkosti ve vrstvených materiálech. Také je zpracována nová metodika aplikací obecných norem na měření přestupu vlhkosti. Praktická část je zaměřena na měření přestupu vlhkosti ve vrstvených materiálech a následně zpracování výsledků měření, včetně zhodnocení efektivity použité metodiky.

KLÍČOVÁ SLOVA:

vlhkost, hasičské uniformy, Nomex, Gore-tex, Kevlar, gravimetrická metoda

ANNOTATION

The diploma thesis deals with passage of humidity through sandwich material of fire-fighting garments, which produces the company Deva F-M. In this thesis the recherche on the theme of transport of humidity through layers materials is processed. There is also described the new methodology of common standards application for measurement of humidity transport. The practical part of the thesis is targeted to measurement of sandwich materials humidity passage and subsequently the results of measurements are processed including the effectiveness of used methodology evaluation.

KEY WORDS:

humidity, fire-fighting garment, Nomex, Gore-tex, Kevlar, gravimetric method

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY

ϕ = absolutní vlhkost vzduchu

ϕ' = relativní vlhkost vzduchu

ϕ_{nas} = vlhkost plynu s nasycenými párami

β = koeficient přestupu hmoty

ω = měrná vlhkost vzduchu

ϑ_{rb} = rosný bod

ΔP = parciální spád tlaků

Q = výpočet propustnosti

μ = skutečná hodnota

\bar{x} = průměr

A = plocha zkušebního vzorku vystavovaná kapalině

$CaCl_2$ = chlorid vápenatý

cca = asi

č. = číslo

ČR = Česká republika

D_p = difúzní koeficient vodní páry

d = chyba měření

e = relativní chyba

EN = evropská norma

ePTFE = expandovaný polytetrafluorethylén

G_0 = hmotnost misky se vzorkem před expozicí

G_1 = hmotnost misky se vzorkem po expozici

h = tloušťka vzduchové vrstvy

I_{mt} = bezrozměrné číslo

ISO = mezinárodní norma

Kn = medián průměrných hodnot

L = výparné teplo

L_d = dolní mez konfidenčního intervalu

L_h = horní mez konfidenčního intervalu

LiCl = chlorid litný

$Mg(ClO_4)_2$ = chloristan hořečnatý

M_i = molární hmotnost i-té složky plynu

m^* = přenesené množství výparného odporu za daný čas

m_i = hmotnost i-té složky

m' = hmotnost vodní páry

m_p = úroveň pocení

MVTR = míra propustnosti pro vodní páry

n = základní soubor (počet hodnot)

n_s = celkový počet molů

p = celkový tlak směsi plynů

ρ' = hustota suchého vzduchu

p_{air} = parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru

p_{sat} = nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící jednotky

ρ_{vp} = hustota vodních par

P_{abs} = absolutní propustnost
 P_{rel} = relativní propustnost
 P_o = okolí
 P_v = vnější plocha textilie
 P_2O_5 = oxid fosforečný
 PBI = Polybenzimidazol
 q = výparný tepelný tok
 q_0 = tepelný tok procházející měřicí
 hlavicí nezakrytou vzorkem
 q_v = tepelný tok procházející měřicí
 hlavicí zakrytou měřeným vzorkem
 R = molární plynová konstanta
 R_{ct} = tepelný odpor
 R_{et} = výparný odpor
 R_{bl} = výparný odpor z mezní vrstvy
 R_{fab} = výparný odpor z textilie
 R_{gap} = vzduchová vrstva
 s = směrodatná odchylka

s.r.o. = společnost s ručením
 omezeným
 t = náhodná veličina
 T = absolutní teplota
 τ = čas
 t_a = teplota vzduchu proudícího
 kanálem podél měřicí hlavice
 t_m = teplota povrchu měřicí hlavice
 t_n = teplota jádra
 t_s = teplota kůže
 USA = Spojené státy americké
 UV záření = ultrafialové záření
 v = rychlost vzduchu
 V = objem směsi plynů, objem
 vlhkého plynu
 x_i = naměřená hodnota

OBSAH

ÚVOD.....	12
1 HASIČI.....	13
2 DEVA F-M.....	15
2.1 Představení firmy.....	15
2.2. Hasičské ochranné oděvy – Fireman Tiger	16
2.3. Hasičské ochranné oděvy – Tiger Plus.....	17
2.4. Deva F-M ve spolupráci s firmami	19
2.4.1 Du Pont.....	19
2.4.2 W. L. Gore.....	20
2.4.3 Sofileta	20
3 PARAMETRY PRACOVNÍHO OBLEČENÍ.....	21
3.1 Fyziologická reakce lidského organismu	21
3.2 Požadavky na vlastnosti oděvů a jejich konstrukci	23
4 MATERIÁLY	25
4.1 Vlákná na výrobu speciálních oděvů	26
4.2 NOMEX	28
4.2.1 Komfortní ochrana vlákna Nomex	30
4.2.2 Vlastnosti vlákna Nomex.....	31
4.3 KEVLAR	33
4.4 GORE-TEX.....	34
5 VLHKOST	37
5.1 Definice a jednotky	37
5.2 Odvod vlhkosti z textilie	44
5.2.1 Kapilární odvod vlhkosti	47
5.2.2 Migrační odvod vlhkosti.....	47
5.2.3 Difúzní odvod vlhkosti	48
5.2.4 Sorpční odvod vlhkosti	49
5.3 Měření vlhkosti plynů	50
5.4 Měření vlhkosti kapalin a tuhých látek	52
5.5 Propustnost vlhkosti.....	56
5.6 Vlhkostní jímavost textilií	59
5.7 Zkouška povrchového smáčení	60
5.8 Zkouška sprchováním při pohybu	60

6 KALIBRACE PŘÍSTROJŮ.....	61
6.1 Kalibrace a kontrola vlhkoměrů	61
6.2 Rozbor chyb	61
6.3 95% konfidenční interval.....	63
7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	65
7.1 Gravimetrická metoda I.....	65
7.1.1 Vlastní měření	65
7.1.2 Výpočet propustnosti.....	71
7.1.3 Teorie přenosu vlhkosti u gravimetrické metody I	74
7.2 Gravimetrická metoda II.....	77
7.3 Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin	80
7.4 Zhodnocení a modifikace metod.....	83
7.4.1 Gravimetrická metoda I	83
7.4.2 Gravimetrická metoda II	84
7.4.3 Srovnání gravimetrické metody I a gravimetrické metody II.....	84
7.4.4 Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin.....	86
7.5 Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin a její modifikace uvedená do praxe	87
8 ZÁVĚR	89
9 LITERATURA	91
SEZNAM OBRÁZKŮ	94
SEZNAM TABULEK	94
SEZNAM GRAFŮ	95
SEZNAM PŘÍLOH	95

ÚVOD

Jednou ze základních funkcí oděvu je ochrana lidského organismu proti nepříznivým podmínkám. Je proto velice důležité věnovat pozornost fyziologickým vlastnostem oděvu, tzv. aby oděv byl prodyšný, měl dobrou propustnost vodních par, dobrou tepelnou propustnost, atp.

Tématem diplomové práce je transport vlhkosti sendvičovým materiálem hasičských uniforem. Hasiči vzhledem k jejich povolání potřebují nadstandardní materiály, které jsou nejen pohodlné, jednoduché na údržbu, ale hlavně je ochrání v extrémních podmínkách. Ochranné oděvy musí být odolné proti žáru, teplu, oděru a průřezu. Při výběru materiálu záleží na předurčení, kterým se od sebe liší použité materiály na pracovní oděv.

V teoretické části je představen hasič nejen jako druh povolání, ale i jako záliba pro volné chvíle. V další části je stručně popsáno o firmě Deva F-M, která šije hasičské ochranné oděvy a spolupracuje pro zdokonalení svých produktů s dalšími firmami. Jsou zmíněny materiály, které slouží k výrobě ochranných oděvů, v závislosti na fyziologických vlastnostech organismu a komfortním nošení. Závěr teoretické části se zabývá vlhkostí, s ní spojené měření vlhkosti a kalibrací přístrojů.

Praktická část je zaměřena na měření přestupu vlhkosti ve vrstvených materiálech pomocí gravimetrické metody a metody zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin a následné zpracování výsledků měření, včetně zhodnocení efektivity použité metodiky.

1 HASIČI

Hasič by měl být starší 18 let, trestně bezúhonný s dobrým zdravotním stavem a dobrou kondicí. Každé dva roky je povinen chodit na lékařské prohlídky. Pokud nevyhoví u lékařské prohlídky, nemůže toto povolání nadále vykonávat. Každý rok chodí hasič na tělesné zkoušky. Dále je nutné splnit potřebné kurzy, které musí mít každý hasič + specifické kurzy pro techniky a strojníky [1].

Rozdělení hasičů

- **Profesionálové**

Jedná se o zaměstnance hasičského záchranného sboru, kteří jsou připraveni 24 hodin denně zachraňovat osoby v nouzi nebo přijíždět k živelným pohromám [2].

- **Profesionální hasiči podniku**

Jejich úkoly jsou spojené s požární ochranou podniku. Při rozsáhlých požárech a záchranných akcích zasahují společně s hasičským záchranným sborem ČR [2].

- **Dobrovolní hasiči**

Většina těchto dobrovolníků má hasiče za svého koníčka. Zasahují společně s profesionálními hasiči jak při velkých požárech, kde by se profesionálové bez nich nedokázali obejít, tak i při menších požárech v menších obcích [2].

Hasiči se dále rozdělují podle jejich specializace, např. potápěči, horolezci, nebo chemici [2].

Systém pořizování oblečení

Hasič dostane první uniformu při nástupu do služby. Další části nebo celý pracovní oblek koupí podle potřeby. Uniformy je možné za určitou částku nechat opravit, což je však časově omezené, protože čím je uniforma starší, tím menší vrstva hasiče chrání [1].

2 DEVA F-M

2.1 Představení firmy

Deva F-M, s.r.o. byla založena v roce 1993 jako specializovaný výrobce ochranných oděvů a je v tomto odvětví považována za nejstarší firmu v ČR. Produkty společnosti jsou určeny všem profesím, které vyžadují speciální ochranu v extrémních situacích, jako jsou plameny, voda, chemikálie, sálavé teplo, atp. Společnost si zakládá na tom, aby oděvy byly bezpečné, zároveň pohodlné a jednoduché na údržbu. Nabízený sortiment obleků je z vláken Nomex, firmy Du Pont a z materiálu Gore-tex, firmy W. L. Gore. Všechny výrobky jsou testovány podle evropských norem [3].

Firma je držitelem ocenění v podobě certifikátu ISO 9001 – systému řízení jakosti, který obdržela v roce 1996. Dále obdržela od firmy Du Pont visačku „kvalifikovaný oblek z materiálu Nomex“ pro hasiče a průmyslové dělníky, kde součástí zkoušek byl také Thermo-man [3].

Touto zkouškou se testuje účinnost ochranných oděvů. Thermo-man je figurína v životní velikosti se 122 teplotními čidly napojená na počítač. Figurína je oblečená do zkušebních oděvů a vystavována plameny ohně, o teplotách blížících se 1000 °C. Čidla zaznamenávají nárůst teploty na povrchu figuríny a počítač vypočítává předpokládaný rozsah popálenin druhého a třetího stupně, které by osoba mohla utrpět za podobných podmínek. Cílem testu je také určit nejčastější výskyt popálenin na těle [3].

Na základě dřívějších zkoušek bylo zjištěno, že člověk, který je oblečen do oděvu ze 100% bavlny nebo směsi polyesteru a bavlny, by mohl utrpět popáleniny téměř na 100 % svého těla. Naopak pracovník, který je chráněn oděvem z Nomexu, by patrně utrpěl popáleniny na 40 % svého těla, což zvyšuje jeho šance na přežití [3].

Tato zkouška vyvinutá firmou Du Pont je také používána při vývoji a zkoušení ochranných oděvů předpokládaných ke schválení podle programu kvality Nomex [1].

2.2. Hasičské ochranné oděvy – Fireman Tiger

Fireman Tiger je zásahový oblek pro hasiče podle EN 469:2005. Fireman Tiger je vyvinut z materiálových vrstev firmou Deva F-M ve spolupráci s firmou Sofileta [4].

Materiálová skladba [4]

Vrchní materiál:

- tkanina, vazba ripstop, materiálové složení:

Nomex Tough Diamond, plošná hmotnost 200 g/m^2 (úprava Sofiguard)

Membránový sendvič:

- hydrofobní membrána:

Gore-tex Fireblocker, plošná hmotnost 140 g/m^2 , polopropustná membrána na nosiči z netkané textilie vláken Nomex

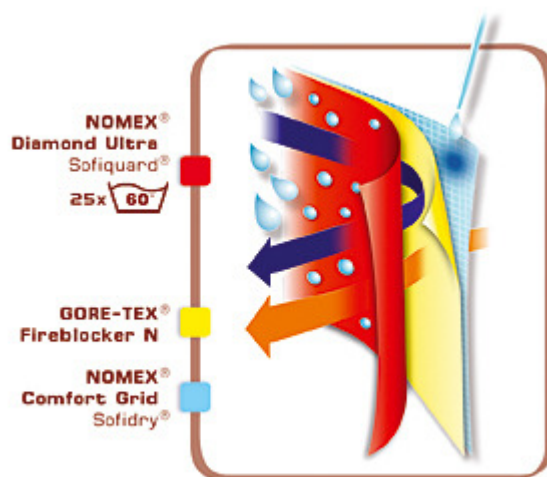
Podšívkový materiál:

- tkanina s vyztužující nití v osnově i útku, materiálové složení:

Nomex Comford Grid, plošná hmotnost 200 g/m^2 (úprava Sofidry)

Charakteristika [4]

- minimální absorpce vlhkosti
- vysoká pohyblivost
- redukce hmotnosti a objemu
- kovový bezpečnostní uzávěr se sníženou hořlavostí
- oproti předcházející verzi modelu prodyšnost zvýšena o 30 %
- zvýšení výkonnosti, redukce tepelného stresu
- zesílená kolena tkaninou Kevlar



Obrázek 1 - Materiálová skladba hasičské uniformy [4]

2.3. Hasičské ochranné oděvy – Tiger Plus

Zásahový hasičský oblek Tiger Plus je nejnovější produkt, který navazuje na oblek Fireman Tiger, EN 469:2005. Tiger Plus využívá materiálové složení použitých vrstev vyvinuté firmou Deva F-M ve spolupráci s firmou Sofileta [5].

Materiálová skladba [5]

Vrchní materiál:

- tkanina, vazba ripstop, materiálové složení:

Nomex Diamond Ultra, plošná hmotnost 210 g/m^2 (úprava Sofiguard)

Membránový sendvič:

- hydrofobní membrána:

Gore-tex Fireblocker, plošná hmotnost 140 g/m^2 , polopropustná membrána na nosiči z netkané textilie vláken Nomex

Podšívkový materiál:

- tkanina s vyztužující nití v osnově i útku, materiálové složení:

Nomex Comford Grid, plošná hmotnost 200 g/m^2 (úprava Sofidry)

Za výhody obleku Tiger Plus je firmou považován lepší vzhled vnější tkaniny doplněný širokým barevným sortimentem a nižší žmolkovitost vnější tkaniny [5].

Sofiguard

Jedná se o impregnační úpravu tkaniny po 25 cyklech praní při 60°C a sušení nebo chemického čištění bez nutnosti další impregnace tkaniny. Sofiguard splňuje EN ISO 6530 – ochrana proti kapalným chemikáliím [4].

Sofidry

Jedná se o hydrofilní úpravu (schopnost vázat vodu), která pomocí rychlého odvodu vlhkosti od uživatele a z obleku zvyšuje komfort nošení, výkonnost a ochranné vlastnosti obleku [4].

2.4. Deva F-M ve spolupráci s firmami

Společnost Deva F-M při výrobě výrobků spolupracuje s firmami Du Pont, W. L. Gore a Sofileta. Tato kapitola bude věnována jednotlivým firmám podrobněji.

2.4.1 Du Pont

Firma Du Pont, s.r.o. je jedna z největších chemických společností na světě, kterou založil v USA, v roce 1802 francouzský emigrant Eleuthère Irénée du Pont. Ze začátku se firma zabývala výrobou trhavin. V roce 1938 bylo vynalezeno a na trh uvedeno první umělé vlákno na světě - Nylon. Od této doby se společnost stala výrobcem a dodavatelem vysoce kvalitních vláken, označovaných jako technická vlákna. V roce 1956 pronikla společnost do Evropy. V České republice je firma přítomna přes 30 let a je tu považována za jeden z největších a nejdůležitějších trhů společnosti ve střední Evropě [6].

Firma Du Pont nevyrábí, až na výjimky, produkty k finálnímu prodeji spotřebiteli, ale výrobky jsou prodávány jako polotovary nebo suroviny jiným firmám, které z nich vyrábějí vlastní zboží. V současnosti patří společnost mezi špičku světových výrobců technických vláken. Zabývá se problematikou výroby materiálu z vláken Nomex a Kevlar určených do nebezpečných prostředí. Mezi české partnery společnosti Du Pont, s.r.o. patří firma Deva F-M, s.r.o. [6].

2.4.2 W. L. Gore

Společnost byla založena v USA, v roce 1958 Billem a Vievem Gorem. Z počátku byla společnost zaměřena na elektrické výrobky. Bill Gore společně se synem Vievem Gore, Bobem Gore, objevili v roce 1969 nový polymer. Díky vysokému výkonu tkaniny poskytoval tento fluoro-polymer inovativní řešení v textilu, elektronice a v lékařství. V současnosti jsou veškeré produkty společnosti W. L. Gore vyráběny pouze z jednoho materiálu, univerzálního polymeru (ePTFE = expandovaný polytetrafluorethylén). Společnost produkuje řadu výrobků pro elektronický přenos signálu, textilie laminátů, lékařské implantáty, membrány, filtraci, tmel a vlákna [7].

Firma se rozkládá ve 30 zemích na světě, kde zaměstnává 9 000 spolupracovníků. Má výrobní závody v USA, Číně, Japonsku, Německu a Skotsku a mnoho prodejních míst po celém světě. Za více než 50 let své existence si firma vybudovala celosvětovou reputaci pomocí etiky a integrity ve svých jednáních se zákazníky, dodavateli a zaměstnanci a za přijetí dlouhodobého horizontu pro posuzování obchodních situací. Po právu byla společnost časopisem Fortune opakovaně jmenována mezi 100 nejlepších zaměstnavatelů v USA. Kultura společnosti W. L. Gore je vzorem pro moderní organizace, které chtějí využívat týmovou práci a kreativitu [7].

2.4.3 Sofileta

Sofileta je součástí průmyslové skupiny specializující se na navrhování a výrobu z technických textilních komponent. Od vytvoření skupiny v roce 1911 se rozvinula textilní odbornost v řadě zaměření, např. mechanické vlastnosti, tkaní, pletení, barvení, konečné úpravy nebo laminování. Firma se snaží poskytovat kvalitní a spolehlivé technicko-textilní díly, zároveň nabídnout odpovídající služby pro zákazníky. V roce 2001 obdržela Sofileta od firmy Du Pont „pečeť kvality“ k použití vlákna Nomex [8].

3 PARAMETRY PRACOVNÍHO OBLEČENÍ

3.1 Fyziologická reakce lidského organismu

Tělesná teplota není ve všech částí těla stejná. Mezi nejchladnější místa patří konce prstů, ušní lalůčky nebo špička nosu. Naopak nejlépe prokrvená místa na těle jsou hlava, prsa nebo břicho. Ve všech částech těla může být teplota kolísavá, mění se podle fyziologického stavu těla a podle okolních podmínek. Jak mohou jednotlivé části těla tepelně kolísat ukazuje tabulka č. 1 [19].

Tabulka 1 - Kolísání teplot jednotlivých orgánů [19]

Orgány	Teplota
Vnitřní orgány	37 °C
Hlava, prsa, břicho	35 – 36 °C
Teplota pokožky při které se člověk cítí nejlépe	32 – 34 °C
Horní a dolní končetiny	29 – 31 °C
Konce prstů, ušní lalůčky, špička nosu	23 – 28 °C

Regulátorem tělesné teploty je hypotalamus. Jedná se o část mozku, která zaznamenává a reguluje tělesnou teplotu.

Fyzická práce v horkém prostředí zvyšuje tělesnou teplotu, která má za následek rozšíření kůže a periferních cév. Teplo z teplejšího vnitřku těla migruje ke studenější tkáni na povrchu těla. Čím se pracovní úsilí zvyšuje, tím pracuje srdce rychleji, ve snaze rozptýlit nárůst metabolicky generovaného tepla. V důsledku toho rostou požadavky na cirkulaci krve, aby se kyslíkem zásobovalo svalstvo. Zvýšená fyzická práce má tedy za následek pocení, které vyjadřuje chladící účinek pro povrch kůže a celého organismu. Pokud se zastaví normální procesy pocení nebo se pot nevypařuje, může vnitřní teplota těla stoupat až ke 40 °C. Takovéto riziko může způsobit neprodyšný ochranný

oděv nebo vysoká vlhkost prostředí. Tepelné namáhání hasičů závisí na vlhkosti v ochranném oděvu a s tím související sdílení tepla [9] [19].

Úroveň pocení m_p [kg/hod] je možné stanovit vztahem od Wyndhama a Atkinse (1968):

$$m_p = (t_n - 36,5) \times \{0,1 + 0,455 \exp[0,27 \times (t_s - 33)]\}, \quad (1)$$

kde t_n je teplota jádra těla [°C] a t_s je teplota kůže [°C] [19].

Je možné rozlišovat tři druhy tepla. Mírné teplo, teplo a horko. U mírného tepla nastává zvýšení teploty v periferních oblastí, tj. na čele, dlaních nebo chodidlech, doprovázené počínajícím pocením na těchto místech. Jedná se o stav, kdy jsme schopni plně fungovat v delším časovém úseku. Podmínky, ať už okolí nebo oděv, které způsobují tento pocit, jsou vyhovující. Rozšíří-li se ale teplo po celém těle, jedná se o stav - teplo. Pot je vylučován jednak čelem, dlaněmi, chodidly, tak i zády a hrudníkem. Pot je odváděn z pokožky v plném rozsahu. Je možné v tomto stavu přetrvávat pouze krátkodobě. Oděv, který vyvolá tento stav hraničí mezi vyhovujícím a nevyhovujícím. Pokud tělo odvádí takové množství potu, které není schopno se samo odpařit, jedná se o stav – horko. V tomto případě dochází k přehřátí celého organismu, následnému intenzivnímu pocení a posléze ke ztíženému dýchání. Stékající pot nestačí být z povrchu pokožky odpařován a odsáván. Oděv, který vyvolá tento stav je nevyhovující, jelikož daný jedinec má pocit diskomfortu [19] [34].

Popálení kůže vnějším sálavým teplem je závislé na teplotě, na kterou je kůže zahřátá a na délce působení tepla. Čím vyšší je teplota kůže, tím kratší je doba potřebná k vzniku puchýřů nebo popálenin. Delší nebo opakované vysoké tepelné působení bude postupně zvyšovat teplotu oděvu. Popáleniny pak mohou nastat i když hasič již nebude vystavován vysokým teplotám okolí. Možné popáleniny hasičů zahrnují opaření, když vypařená vlhkost kondenzuje

(přeměna plynu na kapalinu) na povrchu kůže. Jsou případy, kdy hasič byl v oděvu opařen parou, ačkoliv už byl mimo požár [9].

3.2 Požadavky na vlastnosti oděvů a jejich konstrukci

Pro výběr materiálu k výrobě hasičských zásahových oděvů jsou nutná následující pravidla [9] [32]:

- musí chránit tělo před teplem a ohněm
- nesmí přispívat (zvyšovat) nebezpečí
- působením přímého plamene nebo kapek tekutého kovu se nesmí zapálit a dále hořet
- působením plamene se nesmí tavit a vytvářet otvory
- působením tepla se nesmí srážet
- musí vydržet opakované čištění či praní
- musí zabraňovat penetraci vody a jiných kapalin
- měl by působit na nositele příjemným dotykem
- musí být odolný proti mechanickému roztržení, zátrhu a oděru
- pevnost švů a uzávěrů má být stejná jako pevnost materiálu
- musí mít antistatické vlastnosti
- musí být viditelný ve tmě

Ideální oděvy musí poskytovat na určitou omezenou dobu dostatečnou ochranu před plamenem a sálavým teplem. Zároveň, aby nebránily pohybu, musí být lehké a komfortní. Toto jsou protichůdné požadavky vyžadující určitý kompromis [9] [32].

Faktory, které ovlivňují životnost hasičských uniforem [10]

- hmotnost a vazba tkaniny
- četnost používání
- počet a typ oprav
- způsob čištění
- druh práce, kterou daný jedinec vykonává
- velikost zesílení na vysoce odíraných plochách
- expozice extrémním teplem, nebezpečnými materiály a UV zářením

4 MATERIÁLY

Materiály jsou velmi důležité, protože při hašení požáru dojde během 15 minut k přehřátí, a proto musí být materiály prodyšné a zároveň musí odolat žáru kolem 400 °C [9].

Po závažných popáleninách hasičů v ochranných oděvech vyrobených z „nehořlavě“ upravené bavlny a vlny s nehořlavou finální úpravou se prosadila vícevrstvá konstrukce z moderních materiálu, obvykle třívrstvá [9] [32]:

- **vnější vrstva**

Poskytuje první ochranu proti teplu, plameni, vodě a chemickým látkám. Chrání také před oděrem, průřezem a současně poskytuje ochranu vnitřních vrstev. Tento materiál by měl mít dobré tepelně ochranné vlastnosti a být relativně lehký a ohebný [9].

- **vlhkostní pokožka (bariéra)**

Chrání před proniknutím vody, vodní páry a jiných kapalin do tepelné vložky. Leží pod vnější vrstvou. Nově vyvinuté membrány brání proniknutí vlhkosti dovnitř. Umožňují však unikat vodním parám do pokožky těla přes mikroskopické póry membrány [9].

- **tepelná vložka (bariéra)**

Je umístěna pod vlhkostní bariérou. Má obvykle objemnou formu k zajištění tepelně izolačních účinků. Mívá přišitou podšívku ke zvýšení pevnosti vrstvy tepelné složky [9].

Celá sestava oděvu by měla být konstruována tak, aby poskytovala ochranu proti všem nebezpečím, která lze očekávat v prostředí požáru.

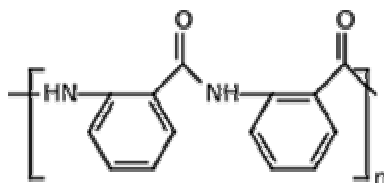
Sjednocení oděvu a dalších jeho součástí jsou kritickými prvky v zajištění celkové ochrany jeho nositele. Kromě toho oděv musí být schopen vydržet několik cyklů jeho používání a praní [9].

4.1 Vlákná na výrobu speciálních oděvů

V současné době se k výrobě oděvů pro hasiče používají moderní, tepelně odolná vlákna na bázi m-aramidů, p-aramidů nebo polytetrafluorethylénů.

- **M-aramidy (meta aramidy)**

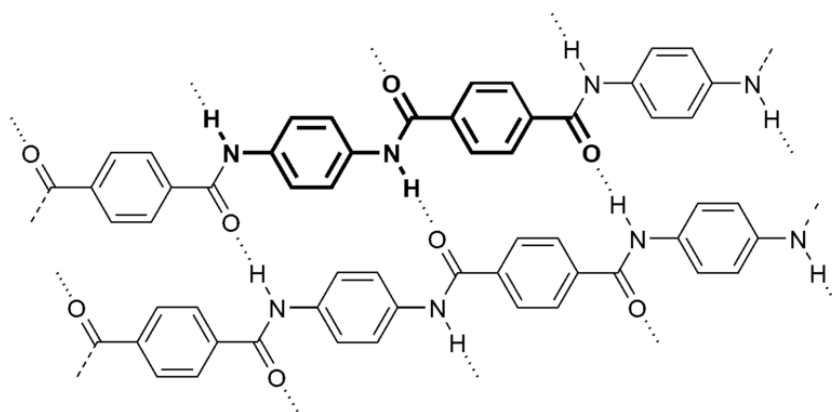
Jedná se o speciální vlákna skupiny meta-aromatických polyamidů. Vyznačují se velmi dobrou tepelnou odolností a pevností současně. Nevzněcují se, netaví a neodkapávají. Uplatňují se ve výrobě ochranných oděvů proti ohni. Při zvýšených teplotách udržují po delší dobu mechanickou pevnost. Odolávají teplotám až 400 °C. Mezi zástupce m-aramidů patří vlákno Nomex (Du Pont) nebo TeijinConex HT (Teijin). Vlákná jsou dodávána v různých úpravách, např. vodivé, antistatické nebo ve směsích s jinými odolnými vlákny. Z m-aramidů má největší pevnost vlákno TeijinConex HT, což umožňuje kombinovat s p-aramidovými vlákny [9].



Obrázek 2 – Struktura m-aramidu [9]

- **P-aramidy (para aramidy)**

Tyto vlákna mají dobře orientovanou tuhou molekulární strukturu, vynikají proto vysokou pevností a tepelnou odolností. Provozní (pracovní) teplota p-aramidových vláken je podobná m-aramidovým vláknům, s tím rozdílem, že oproti m-aramidovým vláknům jsou p-aramidové vlákna 3x až 4x pevnější v tahu. Tento fakt předurčuje p-aramidy k vyztužování konstrukcí a pro ochranné aplikace. Nedostatkem p-aramidových vláken je nižší chemická odolnost a odolnost v oděru. Mezi zástupce je možno uvést vlákno Kevlar (Du Pont), Twaron (Acordis) nebo Technora (Teijin). Nejnovější typy vlákna Kevlar mají zvýšenou pevnost s využitím pro ochranné aplikace. Aby se u p-aramidových vláken zvýšila pevnost, míchají se často s jinými vlákny. Např. ve směsi 60 % Kevlaru a 40 % Polybenzimidazolu (PBI) zlepšuje Kevlar pevnostní slabiny PBI a naopak PBI zlepšuje teplotní odolnost, nasákavost vlhkosti a hebkost Kevlaru [9].

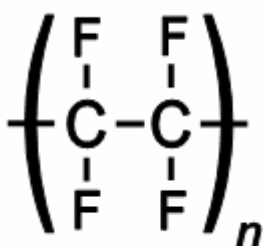


Obrázek 3 – Struktura p-aramidu [9]

- **PTFE (polytetrafluorethylény)**

Jedná se o vlákna z fluorouhlíkatého polymeru, která jsou charakteristická vysokou chemickou a tepelnou odolností. Vlákna PTFE jsou chemicky inertní a odolávají extrémním podmínkám. Ze všech druhů vláken se vyznačují nejnižším součinitelem tření. Jsou proto vhodné pro

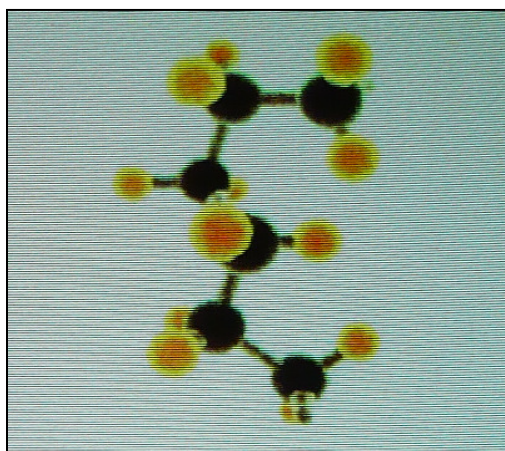
řadu praktických aplikací. Z těchto typů vláken se vyrábějí prodyšné porézní membrány, které v ochranném oděvu slouží jako ochranná bariéra proti požáru nebo k ochraně textilií před skvrnami. Tento typ vláken je vyráběn firmou Du Pont, pod obchodním názvem Teflon. Jejich nevýhodou je deformace za vyšších teplot. Teplota tání je 327 °C. Ke zlepšení tohoto nedostatku se používají p-aramidy se kterými se PTFE směsuje. Mezi další nedostatky polytetrafluorethylénů je možné zařadit jejich obtížné zpracování a míchání s jinými vlákny. Mezi zástupce patří Teflon (Du Pont), či Toyoflon (Toray) [9].



Obrázek 4 – Struktura Polytetrafluorethylénu [9]

4.2 NOMEX

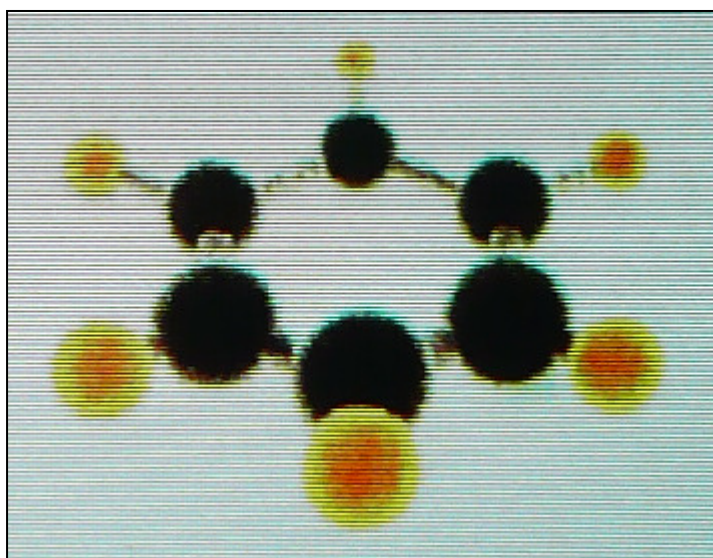
Struktura Nylonu byla založena na krátkých alifatických (rovinných) uhlíkových řetězcích, spojených dohromady aramidovými skupinami [11].



Obrázek 5 - Alifatický řetězec [27]

Spojení takovýchto alifatických polymerů má špatnou ohebnost, protože jejich atomy nejsou uspořádány. Struktura má možnost se otáčet kolem jejich pružných vazeb a úhel spojení, který je cca 110° , se po zatížení narovná. Makroskopicky takové polymery měknou a tají při relativně nízké teplotě. Materiály mají nízkou pevnost, nestálé vnitřní vazby a jsou méně odolné proti chemickým účinkům [11].

Naopak vlákno Nomex zastupuje více náročných požadavků. Jeho aromatické uspořádání má stálou hexagonální „benzenový kruh“ strukturu [11].



Obrázek 6 - Benzenové jádro (benzenový kruh) [27]

Vazby jsou vysunuté z kruhu pod úhlem 60° a všechny jsou v rovině kruhu. Vazby uvnitř a kolem kruhu jsou pevnější než alifatické uspořádání uhlíkových řetězců. Spojením atomického kruhu s uhlíkovými vazbami vzniknou atomické uhlíkové řetězce. Tyto řetězce jsou odlišné od rovinných polyamidů (Nylon) a přijaly všeobecné označení Aramidy [11].

4.2.1 Komfortní ochrana vlákna Nomex

Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat [19]. Komfort je nezbytný k dosažení funkční schopnosti ochránit člověka před nebezpečím. Oděvy vyrobené z nomexových vláken jsou lehčí než oděvy vyrobené z jiných vláken [11].

Tabulka 2 - Hmotnost vláken [9]

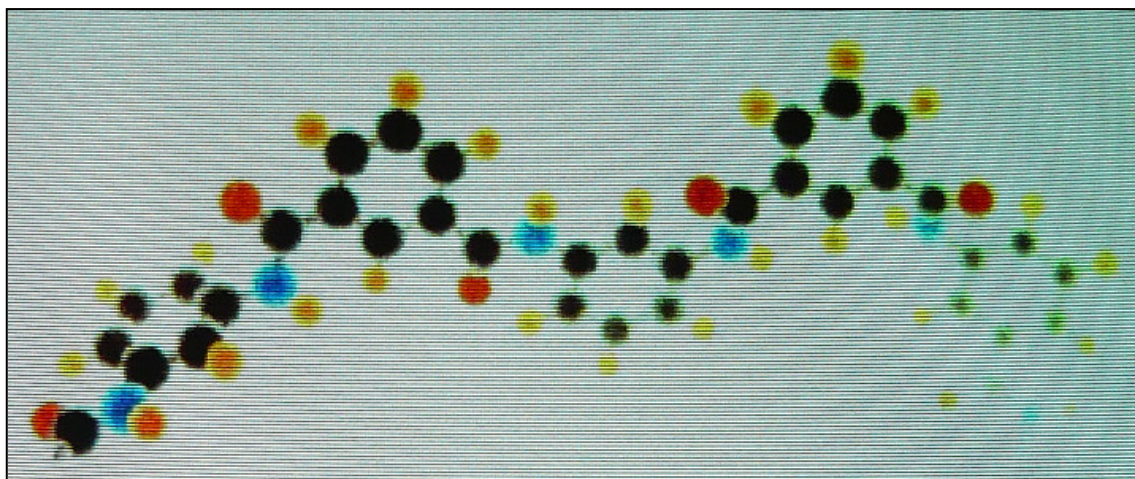
Vlákno	Obchodní název	Specifická hmotnost [g / cm^3]
M-aramid	Nomex	1,38
P-aramid	Kevlar	1,44
Uhlíkové	T1000G	1,81
Polyesterové	Trevíry	1,38

Ekvivalentem je lepší ochrana proti žáru a plameni. Oděvy z Nomexu jsou lehké, prodyšné a při práci se můžou nosit jako volný a pohodlný oděv, proto jsou komfortní [11].

Se stoupající úrovní lidské aktivity roste stupeň metabolických přeměn. Je proto velmi důležité, aby se člověk cítil dobře ve velikém rozsahu aktivit, od chůze až po intenzivní činnost. Textilie vyrobené z materiálu Nomex vykazují širší zónu komfortu než většina tkanin používaných pro výrobu průmyslových pracovních oděvů [11].

4.2.2 Vlastnosti vlákna Nomex

Vlákno Nomex má díky své molekulární struktuře výjimečné vlastnosti, spojující odolnost vůči žáru a plameni, trvanlivost a estetickou kvalitu. Vlákno Nomex je nejpoužívanější vlákno pro výrobu ochranných oděvů před žářem, plamenem, či výbuchem [11].



Obrázek 7 - Struktura vlákna Nomex [27]

Základní vlastností ochranných oděvů je schopnost udržet si integritu v ohni. Odolný oděv musí být proto po celý čas tak silný, aby se neroztrhl a tepelná vodivost musí být dostatečně nízká, aby byl co nejvíce omezen kontakt mezi kůží a vnějším zdrojem tepla [11].

Při působení přímého plamene se nomexová vlákna začínají zhušťovat, stávají se objemnějšími a vzniká naplněná vzduchová ochranná mezera mezi zdrojem žaru a pokožkou. Tato ochranná mezera zůstává pružná až do ochlazení, tím se stává ochranou proti působení přímého plamene [11].

Ochranné vlastnosti jiných přírodních a syntetických vláken závisí na ohnivzdorné nebo nehořlavé povrchové úpravě, která zpomaluje působení plamene. Její kvalita se může zhoršovat a v případě požáru může ohnivzdorný materiál vydávat nebezpečně veliké množství jedovatých plynů. Emisní plyny,

kteřé vznikají z oděvů vyráběných z vláken Nomex, jsou netoxické a jejich koncentrace je mnohonásobně nižší než zplodiny u oděvů vyráběných z impregnovaných vláken [11].

Ochranné vlastnosti textile jsou dány molekulární strukturou vlákna Nomex, proto povrchová úprava není nutná. Vlastnosti jsou permanentní a nemění se ani při opakovaném praní [11].

Pro výrobu ochranných oděvů, jako jsou hasičské zásahové obleky (kalhoty, kabáty), pracovní kombinézy, vybavení do nepříznivého počasí, košile, aj. se používají směsi materiálů Nomex a Kevlar. Tyto směsi byly vyvinuty speciálně pro účel ochrany pracovníka. Vlákná začínají karbonizovat při teplotě 380 °C, vynikají proto svou tepelnou izolací, netají a nekapou. Zbavením zdroje žáru jsou materiály Nomex a Kevlar samozhášecí [11].

Až na výjimky obsahují všechny směsi Nomex antistatické vlákno P140 s uhlíkovým jádrem. Jedná se o uhlíkové vlákno, které lze zařadit do třídy anorganických vláken. Vedle zvyšování bezpečnosti provozu v prostředí, kde jsou přítomny hořlavé plyny a prach, pomáhá vlákno P140 také odstraňovat nepříjemné jiskření oděvů, což bývá většinou spojeno s umělými vlákny [11].

Pro výrobu oděvů sekundární tepelné bariéry jsou k dispozici směsi vlákna Nomex a viskózy. Tento materiál je doporučován pouze pro výrobu spodních ochranných oděvů [11].

Trvanlivost vlákna Nomex

Oděv vyrobený z vlákna Nomex vydrží až pětikrát déle než pracovní oděv zhotovený ze 100% bavlny, ze směsi polyesteru a bavlny (PL/CO) nebo FR impregnované bavlny. Tyto oděvy jsou odolné proti přetrhu v tahu a oděru [11].

Údržba

Tyto pracovní oděvy nejsou náročné na údržbu. I po opakovaném praní si zachovávají svůj původní tvar, velikost a neztrácejí barvu. Po usušení v sušičce nebo na vzduchu v rozprostřeném stavu nepotřebují oděvy žehlit [11].

Vzhled

Vlákno Nomex se vyskytuje v tkaninách, pleteninách, netkaných textiliích a plsti (plošná textilie ze vzájemně zaklesnutých vláken). Toho se využívá při výrobě v různých provedeních, např. kalhoty, kombinézy, košile, teplákové bundy nebo spodní prádlo. Široká paleta barev a hmotnost má za následek oblíbenost jako jiný oděv pro každodenní nošení [11].

Z dlouhodobého pohledu je zřejmé, že oděvy šité z materiálu Nomex poskytují kvalitní a pohodlné ochranné oděvy [11].

4.3 KEVLAR

Technické vlákno Kevlar je jedním z nejdůležitějších uměle vytvořených organických vláken. Jedná se o para-aramid, který je složen z dlouhých molekulárních řetězců. Řetězce jsou vysoce orientovány se silným mezi řetězovým slučováním, ze kterého vyplývají vlastnosti [12]:

- vysoká pevnost při nízké hmotnosti
- vysoká chemická odolnost
- vysoká houževnatost
- odolnost proti ohni
- nízká měrná elektrická vodivost
- malá srážlivost
- rozměrová stálost

Materiál vyniká svou lehkostí a komfortní ochranou. Ochranné rukavice a rukávce z vlákna Kevlar mají 5x vyšší odolnost proti proříznutí než je odolnost kůže a trojnásobně vyšší odolnost než je u bavlny nebo Nylonu. Kevlar je 5x silnější než ocel, ale současně je lehčí, poddajnější a pohodlnější. Vyniká vysokou odolností vůči chemikáliím a žáru. Je odolný vůči plameni, netaví se a neskapává [12].

Vlastnosti vlákna Kevlar se dají využít u výroby rukavic a návleků, kde se ochranné vlastnosti pojí s pohodlím při nošení a v nichž ruce neztrácejí svou obratnost a citlivost. Rukavice vyrobené z tohoto typu para-aramidového vlákna odolávají po dlouhou dobu teplotám 250 °C, krátkodobě mohou být vystaveny i teplotám 700 °C. Při teplotě 450 °C Kevlar sublimuje (přeměna pevné látky na plyn bez průchodu kapalné fáze, tedy tání). Rukavice vyrobené z Kevlaru se díky své molekulární struktuře nesrážejí ani ve vysokých teplotách. Jedná se o materiál s dlouhodobou trvanlivostí, proto předměty z něj vyrobené vydrží obvykle déle než stejné výrobky z kůže nebo bavlny [12].

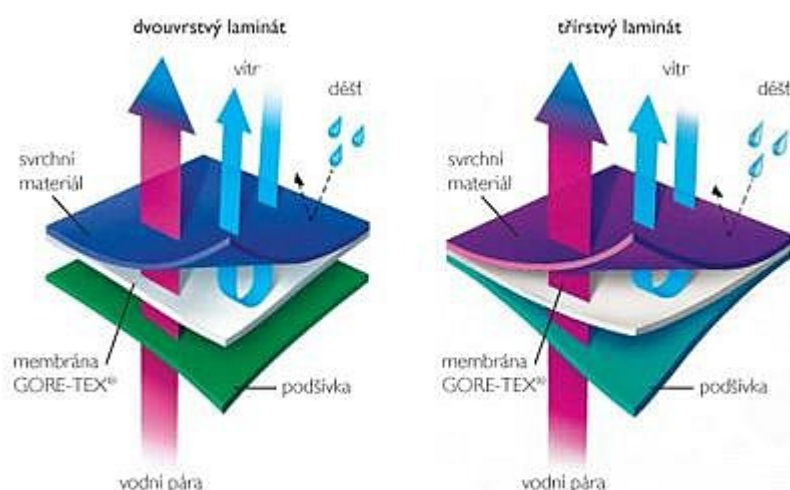
4.4 GORE-TEX

Gore-tex vznikl v roce 1969. Materiály Gore-tex jsou vyrobeny z úzké pórovité dvousložkové membrány, z expandovaného PTFE (teflon), která je nalaminována mezi jiné textilie odolné proti smáčivosti. Část membrány z expandovaného PTFE (polytetrafluorethylén) obsahuje více než 1,4 miliardy mikroskopických pórů na centimetr čtvereční. Tyto póry jsou 20 000 krát menší než kapka vody a 700 krát větší než molekula vodní páry. Voda v kapalném skupenství tak nemůže membránou proniknout, zatímco vodní pára pronikne membránou snadno [13].

Do struktury ePTFE je začleněná oleofóbní látka (látka odpuzující olej), která umožňuje průchod vodní páry a zároveň vytváří bariéru, která brání průniku znečišťujících látek, např. olejů, kosmetických přípravků nebo složek

potravin. Výsledkem je tak trvale nepromokavá, větruvzdorná a prodyšná membrána [13].

Oblečení je nepromokavé, pokud odolává tlaku 1,3 m vodního sloupce. Gore-tex odolává tlaku 42 – 80 m vodního sloupce. Nepromokavost Gore-texu je základní vlastností materiálu. Nemá-li materiál poškozen (natržen nebo propíchnán) je permanentně nepromokavý. Jeho 100% nepromokavost je zajištěna technologií podlepení švů Gore-Seam a Micro Gore-Seam. Podlepením se zcela zakryjí veškeré drobné díry po jehlách šicího stroje, které vznikly v laminátech při výrobě oděvů [13].



Obrázek 8 - Materiál Gore-tex [14]

Je rozlišován dvouvrstvý laminát, kdy je většinou membrána spojena pouze s vnější tkaninou a zevnitř je chráněna volnou podšívkou. U třívrstvého laminátu je většinou membrána nalamínována mezi vnější tkaninu a podšívku. U hasičských záchranných obleků firmy Deva F-M je membrána na nosné netkané textilii a celý tento sendvič je mezi vnějším a podšívkovým materiálem. Výrobky z dvouvrstvého Gore-texu jsou univerzálnější, lehčí a prodyšnější. Oblečení z třívrstvého Gore-texu vyniká odolností [14].

Vlastnosti membrány Gore-tex [13]

- nepromokavost
- vysoká prodyšnost
- odolnost proti pronikání větru
- vysoká odolnost vůči mrazu
- vysoká odolnost při ohybu
- dlouhodobá životnost

K vyjádření míry propustnosti pro vodní páry se využívá veličina MVTR (Moisture Vapor Transmission Rate), což se dá vyjádřit jako rychlost přenosu vlhkosti, která udává, kolik gramů vlhkosti dokáže propustit jeden metr čtverečný membrány za 24 hodin. Gore-tex má hodnoty MVTR mezi 8000 až 12 000 $g/m^2/24hod.$ Což je nejvíce mezi nepromokavými látkami [13].

Větruvdornost Gore-texu je také vysoká. Při rychlosti větru 75 km/h je izolační efekt Gore-texu asi dvakrát větší než u jiných větruvzdorných látek. Ve vichřici je rozdíl dokonce až pětinasobný. V Gore-texu se tedy ušetří až 40 % tepla [13].

Gore-tex se může prát při teplotě 40 °C. Praní tedy nenarušuje Gore-texovou membránu. Gore-tex lze také chemicky čistit, ale jen do té doby, dokud bude na etiketě čitelný symbol P [13].

Výrobky s Gore-texem jsou oproti jiným výrobkům drahé. Důvodem jsou nákladné technologie podlepení a odzkoušení všech švů oděvu, důkladné testování pro udělení licence, aby měl výrobce oprávnění označovat své výrobky visáčkou Gore-tex a v neposlední řadě cena podpůrných materiálů jako jsou podšívky [14].

5 VLHKOST

Vlhkost je základní vlastností vzduchu. Vlhkost vzduchu udává, jaké množství vody v plynném stavu (vodní páry) obsahuje dané množství suchého vzduchu. Jedná se o důležitý parametr v mnoha odvětvích. Nedostatek nebo přebytek vlhkosti má značný vliv na poruchy zařízení nebo kvalitu výrobků. V textilním průmyslu se jedná hlavně o bobtnání, kdy textilie při kontaktu s vodním prostředím začíná nabývat na objemu. Dále má vlhkost vliv na mechanické vlastnosti textilií. Při změnách vlhkosti se mění krystalická struktura látky a tak i vlastnosti celé látky. Ztráty způsobené nesprávným odhadem vlhkosti mohou dosahovat až k milionovým částkám. Je proto velmi důležité věnovat kontrole vlhkosti odpovídající pozornost [15].

V podmínkách tepelné pohody se relativní vlhkost vzduchu pod oděvem (ve vrstvě mezi pokožkou a první vrstvou oděvu) pohybuje v rozmezí 35 - 60 %. Může být o něco nižší než vlhkost okolního vzduchu, v důsledku vyšší teploty vzduchu ve vrstvě mezi tělem a oděvem. Nejdůležitější je dynamika vlhkosti vzduchu pod oděvem, která ovlivňuje schopnost oděvu (vlivem materiálu a střihu) odvádět pot z povrchu těla do okolního prostředí. Hygienickým požadavkům vyhovuje více oděv, v jehož prostoru pod oděvem je rychlost narůstání vlhkosti vzduchu nižší [16].

5.1 Definice a jednotky

Vodní pára

Jedná se o plynné skupenství vody, které se nachází v okolním prostředí a během kondenzace (přeměna, kdy se plyn mění na kapalinu) se vyskytuje ve formě malých aerosolových kapiček. Během plynného skupenství je pára neviditelná. U kapalin se pára dostává do prostředí překročením bodu varu. Sublimací (bez průběhu kapalné fáze) se dostává pára do prostředí u pevných látek, kdy se pevná látka mění na plyn. Množství páry v prostředí se vyjadřuje vlhkostí [15].

Vodní pára se dá označit za nejvýznamnější skleníkový plyn. Na Zemi jsou místa, kde pára tvoří 0 – 4 % vzduchu. Vysoký tlak vodní páry a vysokou úroveň absolutní vlhkosti vzduchu lze nalézt v teplých tropických oblastech. Naopak malý tlak vodní páry se může očekávat v chladných polárních oblastech a vyšších nadmořských výškách. Kondenzací vodní páry vznikají mraky, dešťové a sněhové srážky. Vodní pára se také uplatňuje při vzniku blesků. V praxi se můžeme s vodní párou setkat v průmyslu, kde je s vodou důležitým faktorem pro přenos tepla, výrobu elektrické energie nebo při konání mechanické práce. Již v 19. století se stala pára základní hybnou silou průmyslu a dopravy. V současnosti se pára využívá k pohonu turbín u tepelných a jaderných elektráren [15].

Bude zaveden termín kritická teplota. Nad touto teplotou se už nevyskytuje kapalina. Mezi kapalinou a plynem zmizí rozhraní a látka se stane stejnorodou. V tomto bodě se nachází kritický tlak. Má-li plyn dostatečně nízkou kritickou teplotu a dostatečně vysoký kritický tlak ve srovnání s podmínkami měření, můžeme ho považovat za ideální. Vodní pára nesplňuje tyto podmínky (kritická teplota 374 °C, kritický tlak 22,07 MPa). Obsah vodní páry ve vzduchu při teplotě 20 °C může být maximálně 17,29 g/m³. Parciální tlak vodní páry je 2,338 kPa. Proto můžeme vodní páru ve vzduchu považovat za ideální plyn a její chování popsat stavovou rovnicí [15]:

$$p \times V = n_s \times R \times T, \quad (2)$$

kde p je celkový tlak směsi plynů daný součtem parciálních tlaků všech k složek [Pa], rovnicí vyjádřeno [15]:

$$p = \sum_{i=1}^k p_i. \quad (3)$$

V je potom objem směsi plynů [m³] a n_s je celkový počet molů všech k složek směsi, rovnicí vyjádřeno [15]:

$$n_s = \sum_{i=1}^k \frac{m_i}{M_i}, \quad (4)$$

kde m_i je hmotnost i -té složky [kg], M_i je molární hmotnost i -té složky plynu [kg/kmol]. Dále R je molární plynová konstanta (8,314 KJ/mol), T je absolutní teplota [K] [15].

Stavová rovnice ideálního plynu je pro vodní páru ve směsi s běžnými plyny použitelná při kladných teplotách, tj. $T > 273$ K a tlaku do 1 MPa [15].

Tlak vodní páry

Tlak vodní páry, nebo-li napětí vodní páry. Jedná se o dílčí tlak vodní páry, obsažené ve vzduchu. Jednotkou je hektopascal [hpa]. Rozdílem maximálního tlaku vodní páry při dané teplotě a skutečným tlakem vodní páry při stejné teplotě se dá vyjádřit sytostní doplněk [15].

Propustnost vodních par

Propustnost vodní páry je schopnost textilních materiálů propouštět vodu v podobě vodních par z prostoru omezeného daným materiálem. Materiály, které mají ve své struktuře bavlněná, vlněná, lněná, viskózová nebo acetátová vlákna, se vyznačují vysokou propustností pro páru, bez ohledu na hustotu daného materiálu. Propustnost těchto materiálů je určována sorpčními vlastnostmi textilních vláken. Propustnost materiálu ze syntetických vláken závisí na hustotě vláken. Rozhodující pro propustnost vodní páry je tedy konstrukce plošné textilie, která při použití hydrofobních vláken (odpužující vodu) musí být dostatečně volná a otevřená pro prostup vodních par. Propustnost vodních par dále závisí na prodyšnosti (pórovitosti) textilie, vazbě, povrchové úpravě, konstrukčním řešení oděvu, atd. U vrstveného oblečení by měla být textilie hygroskopická (pohlcující, udržující vlhkost). Uplatňuje se tu totiž knotový efekt (schopnost odvádět vlhkost z povrchu), který při takovéto skladbě oblečení zaručuje pohodlné nošení [16].

Lidský organismus neustále produkuje pot ve fázi páry. Pokud chybí u textilního materiálu schopnost propouštět vodní páry, tak dochází ke zvyšování relativní vlhkosti pod oděvem. Relativní vlhkost vzduchu ovlivňuje velikost pocení a jeho termoregulační účinek. Je proto nezbytné při výběru materiálu brát ohled na to, jakou má daný materiál schopnost propouštět vodní páry [16].

Propustnost textilií pro vodní páry se nejčastěji hodnotí pomocí výparného odporu R_{et} [$Pa \times m^2 / W$]. Podle stávajících norem ISO 11092 platí: [19]

Tabulka 3 - Hodnoty výparného odporu [19]

Výparný odpor		paropropustnost
< 6	< 20 000 $g / m^2 / 24hod$	velmi dobrá
6 – 13	9 000 – 20 000 $g / m^2 / 24hod$	dobrá
13 – 20	5 000 – 9 000 $g / m^2 / 24hod$	uspokojivá
> 20	> 5 000 $g / m^2 / 24hod$	neuspokojivá

Index propustnosti vodních par

Poměr tepelného a výparného odporu je dán rovnicí:

$$I_{mt} = S \times \frac{R_{et}}{R_{et}} \quad (5)$$

I_{mt} ... bezrozměrné číslo, jehož hodnota se nachází mezi 0 – 1

- pokud je index rovný nule, pak materiál nepustí vodní páru, má proto nekonečně veliký výparný odpor
- pokud je index rovný jedna, pak materiál má poměr výparného a tepelného odporu stejný jako vrstva vzduchu o stejné tloušce
- $S = 60$ [Pa/K] [34]

Metody měření prostupu vodní páry

Podle normy ČSN 800 855 [24] podstata zkoušky spočívá v tom, že vodní páry, procházející za daných podmínek plošnou textilií, jsou absorbovány silikagelem (vysoušedlem). Stanovuje se přírůstek hmotnosti. Pro zvýšení přesnosti a reprodukovatelnosti se zkoušení provádí jako poměrné. V exsikátoru (laboratorní nádoba k vysoušení preparátů) jsou umístěny misky, které jsou naplněny silikagelem. Víko pěti misek tvoří měřená textilie, pět misek je ponecháno bez textilie. Všechny misky se vloží do vysoušecí skříně a po vysušení jsou misky vloženy do klimatizační skříně. Délka expozice v klimatizované skříni je tři hodiny. Účelem zkoušky je zjistit míru schopnosti plošné textilie klást odpor pronikání vlhkosti z ovzduší do silikagelu [16].

Absolutní vlhkost vzduchu

Je dána jako poměr hmotnosti vodní páry m' [kg], ku objemu vlhkého plynu V [m^3]. Tedy [15] [17] [33]:

$$\phi = \frac{m'}{V} [kg / m^3] \quad (6)$$

Takto vyjádřená absolutní vlhkost má rozměr hustoty vodní páry v plynu. Někdy se vyjadřuje v jednotkách tisíckrát menších [g/m^3] [15] [17] [33].

Relativní vlhkost vzduchu

Vlhkostní poměry v obecném prostoru (vnitřní, venkovní) se zpravidla vyjadřují relativní vlhkostí (poměrnou vlhkostí). Charakterizuje stupeň nasycení vzduchu ve škále od 0 do 100 % a je definována jako absolutní vlhkost plynu, dělená vlhkostí plynu s nasycenými párami za stejné teploty a tlaku [15] [17] [33].

$$\varphi' = \frac{\phi}{\phi_{nas}} \times 100 [\%] \quad (7)$$

Suchý plyn má relativní vlhkost $\varphi' = 0$ (0 %). Plyn nasycený vodní párou má vlhkost $\varphi' = 1$ (100 %). Vzorec se dá také označit jako stupeň nasycení [15] [17].

Na relativní vlhkosti závisí mechanické vlastnosti (pevnost, deformace) i tepelné vlastnosti navlhavých materiálů (zejména textilu, papíru, ale i tabáku, apod.) Dodržení relativní vlhkosti má proto veliký význam v podnicích zpracovávajících uvedený materiál. Závislost těchto vlastností navlhavých materiálů na teplotě je malá, proto je nutné při zpracování těchto materiálů dodržet hlavně relativní vlhkost vzduchu [33].

Měrná vlhkost vzduchu

Udává hmotnost vodní páry m' [kg] na 1 kg suchého vzduchu [15] [17] [33].

$$\omega = \frac{m'}{m_{vp}} [kg] = \frac{\rho'}{\rho_{vp}} [kg / m^3], \quad (8)$$

kde ρ' je hustota suchého vzduchu [kg / m^3] a ρ_{vp} je hustota vodních par [kg / m^3] [15] [17].

Měrnou vlhkost je výhodné vztahovat na 1 kg suchého vzduchu proto, že při změně vlhkosti se celkové množství vzduchu mění, ale množství suchého vzduchu zůstává neměnné [33].

Rosný bod

Jedná se o teplotu, při které je vzduch maximálně nasycen vodními párami. Nebo-li relativní vlhkost vzduchu je 100 %. Klesne-li teplota pod rosný bod, nastává kondenzace (přeměna, kdy se plyn mění na kapalinu). Rosný bod ϑ_{rb} zastává pravidlo, čím více je vodní páry ve vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu [15].

Tepelný odpor

Je úměrný rozdílu teplot mezi dvěma povrchy materiálu určenému výsledným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Je výsledkem přenosu tepla kondukcí, konvekcí a radiací. Jde tedy o suchý tok tepla procházející danou plochou materiálu. Tepelný odpor [25] [34]:

$$R_{ct} = (t_m - t_a) \times \left(\frac{1}{q_v} - \frac{1}{q_0} \right) \left[\frac{m^2 \times K}{W} \right], \quad (9)$$

kde t_m je teplota povrchu měřicí hlavičky [°C], t_a je teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavičky [°C], q_v je plošná hustota tepelného toku (dále jen tepelný tok) procházející měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem [W/m^2], q_0 je tepelný tok procházející měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem [W/m^2] [19].

Výparný odpor

Představuje rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, který je dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy ve směru gradientu. Je výsledkem přenosu vodních par difusí, kapilárním odvodem a sorpcí. Jedná se tedy o tzv. latentní výparný tepelný tok, který prochází danou plochou materiálu. Výparný odpor [25] [34]:

$$R_{et} = L \times (p_{sat} - p_{air}) \times \left(\frac{1}{q_v} - \frac{1}{q_0} \right) \left[\frac{m^2 \times Pa}{W} \right], \quad (10)$$

kde L je výparné teplo [J/kg], p_{sat} je nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící jednotky [Pa], p_{air} je parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]. Lidská vlhká pokožka představuje 100% paropropustnost, pokud je ale překryta textilií, tak se paropropustnost sníží. Okolík se sníží záleží na schopnosti textilie propouštět vodní páru. Čím je výparný odpor nižší, tím je propustnost pro vodní páru vyšší [25] [34].

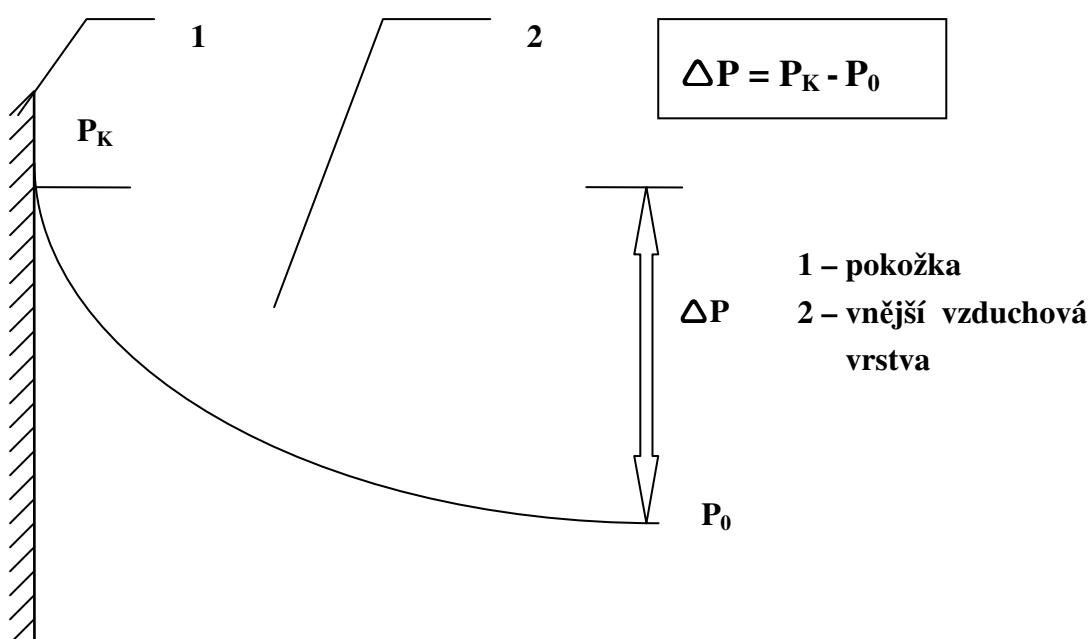
5.2 Odvod vlhkosti z textilie

Lidský organismus produkuje vodu ve formě potu. Množství potu je dáno teplotou proudící krve v podkoží a regulačním centrem v hypotalamu. Při vysoké teplotě okolí nebo při vysoké zátěži organismu dochází ke zvýšené produkci potu. Tato produkce potu není na všech místech stejná. Je realizována jednak sekrecí potních žláz (diskontinuálně) a transepidermální difúzí (kontinuálně), což je oproti prvnímu případu 15x nižší. Hustota potních žláz společně s transepidermální difúzí předává do okolí při vnitřní teplotě organismu do 34 °C cca 0,03 l/hod potu a nad teplotou 34 °C až 0,7 l/hod potu [16] [18].

Tabulka 4 - Hustota potních žláz [16]

Orgán	Hustota potních žláz [kg / m ³]
Čelo	3,6
Rameno	1,5
Předloktí	1,5
Hrudník, záda	1,7
Hýždě	1,9
Stehno	2,5
Lýtko	2,3

Teplota organismu se tím snižuje do optimálních mezí pro činnost látkové výměny. Předpokladem je, aby okolní prostředí bylo schopno toto množství vodní páry přijmout, tzv. aby rozdíl parciálních tlaků určující rychlost odvodu vlhkosti byl co nejvyšší. Snižuje-li se tento rozdíl, odvod vlhkosti klesá a ochlazovací účinek systému mizí. To vše za předpokladu neoblečeného organismu [16] [18].



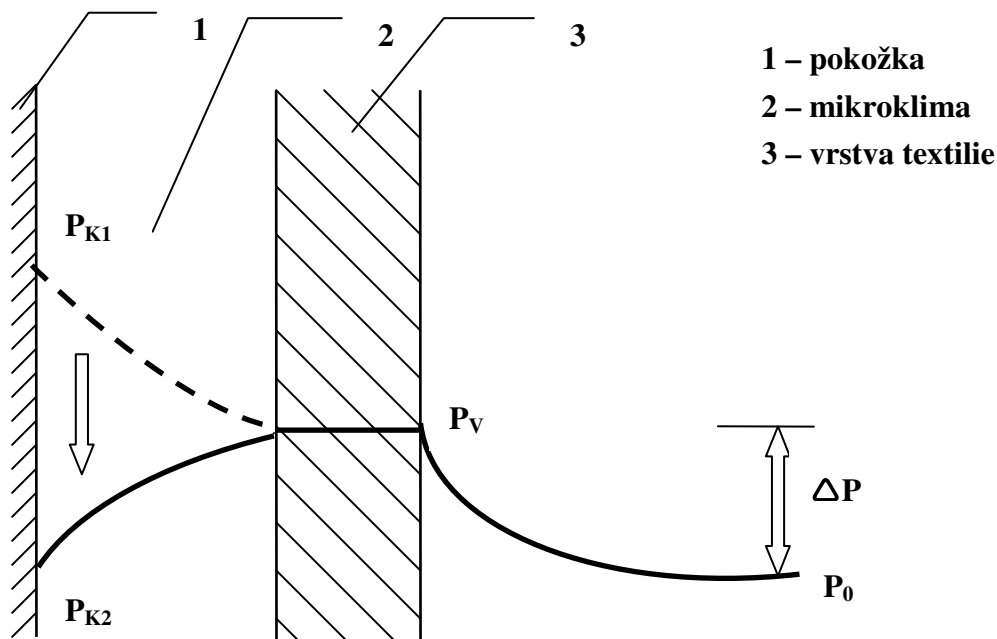
Obrázek 9 - Transport vlhkosti [18]

U oblečeného organismu je odvod vlhkosti z povrchu kůže prováděn pomocí jiných principů. Děje se tak několika způsoby a to [16] [18]:

- Kapilárně
- Migračně
- Difúzí
- Sorpčně

Všechny tyto odvody vlhkosti se procesu zúčastňují současně. Kapilární způsob odvádí pot jako kapalinu. Způsoby migrační, difúzní a sorpční odvádí pot jako kapalinu, tak i jako vodní páru. Hromadění vodní páry v mikroklimatu způsobuje pocit diskomfortu. Pokožka je totiž smáčena množstvím neodváděného potu. Pro optimální podmínky mikroklimatu a pro pocit komfortu je nejvhodnější kombinace difúzního a sorpčního způsobu odvodu vlhkosti. Optimální hodnoty jednotlivých propustností lze dosahovat strukturou jednotlivých vrstev, přičemž vrstvy naléhající přímo na pokožku musí odvádět největší objemy vlhkosti, větší než vrstvy vnější. Rychlý odvod vlhkosti by měl za následek nadměrné ochlazování těla. Pomalý odvod vlhkosti naopak poškození kůže. Je proto nutná kombinace difúzního a sorpčního odvodu, kde sorpční odvod působí jako tlumící mechanismus [16] [18].

Další stránkou těchto odvodů je, jak rychle a za jakých podmínek je schopná plošná textilie nasycená vodou tuto vodu uvolnit. Probíhá-li tento proces na těle, je základem snížení produkce potu, tzv. aby parciální tlak hodnoty P_{k1} klesl na P_{k2} , aby ΔP byl největší mezi vnější plochou textilie P_v a okolím P_o [16] [18].

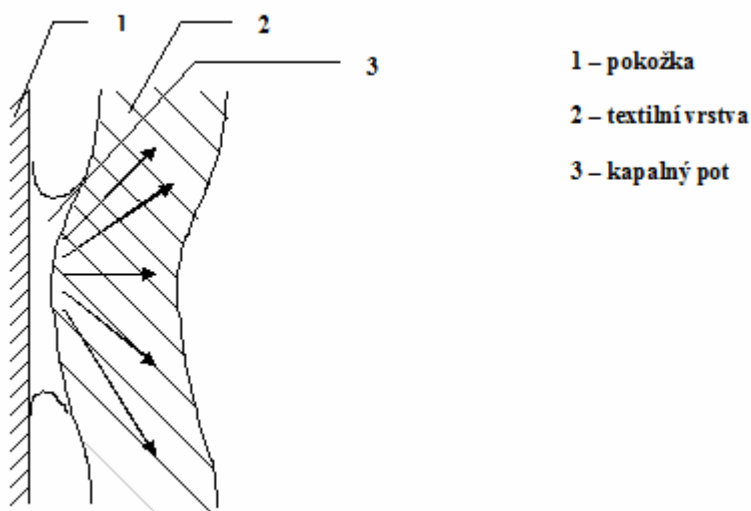


Obrázek 10 - Reverzibilita [18]

5.2.1 Kapilární odvod vlhkosti

Kapilární odvod potu spočívá v tom, že pot v kapalném stavu je odsáván první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry nebo je stejným principem transportován do dalších vrstev, jedná se o tzv. knotový efekt. Kůže je ze strany textilie smáčena odsávaným potem a intenzita prostupu je dána parciálním spádem tlaků ΔP [16] [18].

Kapilární odvod vlhkosti je závislý na smáčecí schopnosti textilie, vláken, povrchovém napětí a potu. Pro odvod vlhkosti u směsových textilií je rozhodující podíl vláken s vyšší a nižší smáčivostí. U syntetických textilií je odnímání potu omezeno na kapilární způsob odvodu potu. Proto se navrhuje textilie tak, aby se kapalná vlhkost odváděla do střední vrstvy a kontakt s pokožkou nebyl provázen pocitem mokrého povrchu [16] [18].

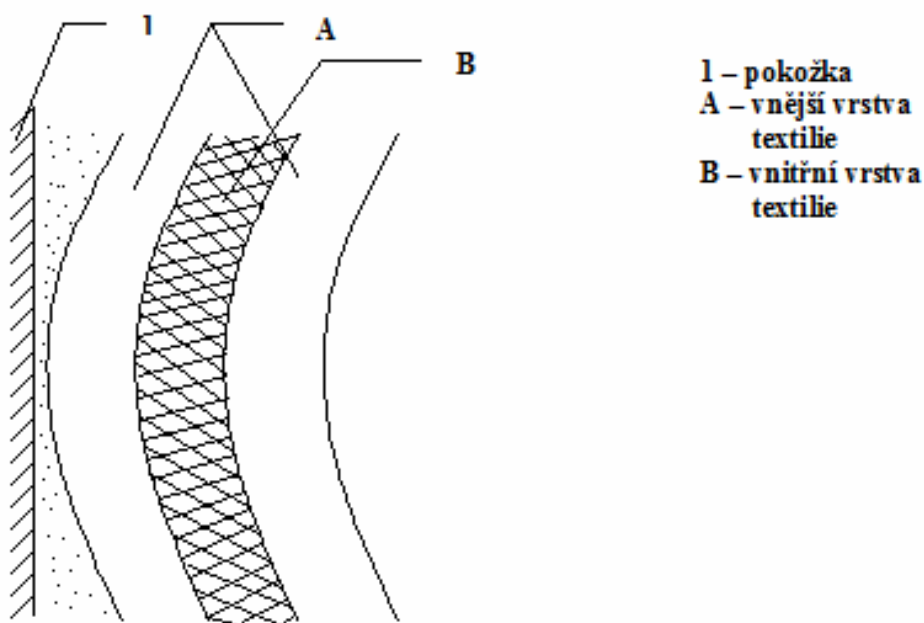


Obrázek 11 - Kapiární odvod vlhkosti [18]

5.2.2 Migrační odvod vlhkosti

K migračnímu odvodu vlhkosti dochází tehdy, pokud se oděv nachází v teplotním spádu mezi teplotou na povrchu těla a okolím. Za těchto podmínek může dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrchu vláken. Tato voda je odvedena do

kapilárních prostor nebo migruje na povrchu vláken. K migraci zároveň dochází u vody, která byla do textilie dopravena kapilaritou, tedy vodou kapalnou. Nastává u vláken, které nemají schopnost nasákavosti, tzv. nepřijímají vodu do své struktury [16] [18].

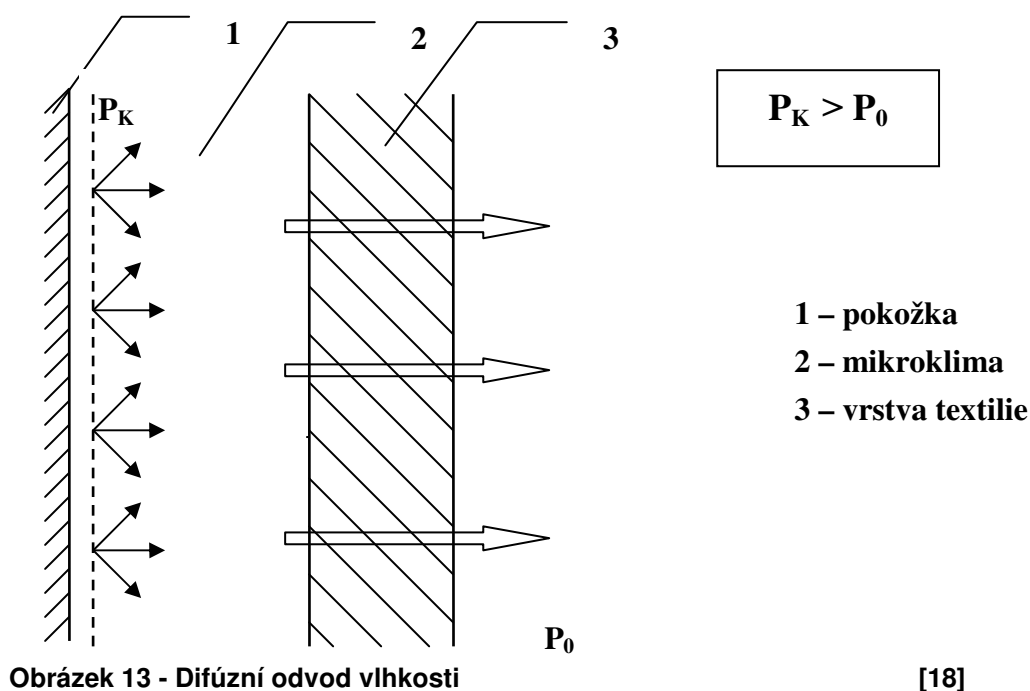


Obrázek 12 - Migrační odvod vlhkosti [18]

5.2.3 Difúzní odvod vlhkosti

Difúzní prostup vlhkosti z povrchu kůže přes textilií je realizován pomocí pórů, které se svojí velikostí podílejí na kapilárním odvodu. Vlhkost prostupuje textilií směrem nižšího parciálního tlaku vodní páry [16] [18].

Oděvy které jsou složeny z několika vrstev různých kvalit a druhů materiálů (nátělník, košile, podšívka, plášť) nemají stejný difúzní odpor a dochází ke zbrždění toho postupu. Vliv vláknenné suroviny, ze které byly jednotlivé textilie vyrobeny, se tu neprojevuje, pokud vlákna nemění svoji geometrii, např. následkem bobtnání [16] [18].



5.2.4 Sorpční odvod vlhkosti

Sorpční proces předpokládá nejprve vnik vlhkosti či kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následně navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Ve srovnání s kapilárním, migračním a difúzním odvodem vlhkosti je tento odvod nejpomalejší. Předpokladem pro sorpční odvod je, aby textilie byla alespoň částečně vyrobena ze sorpčních vláken [16] [18].

5.3 Měření vlhkosti plynů

Psychometrická metoda

Využití této metody je hlavně pro měření vlhkosti vzduchu. Plyn proudí konstantní rychlostí kolem teploměru, který je smočený vodou. Čím je plyn sušší, tím více se z teploměru odpařuje voda a tím více se teploměr vlivem výpalného tepla ochladí [15] [17].

Metoda měření rosného bodu

Jedná se o univerzální metodu, kde malé tělísko, většinou kovové zrcátko, se ochlazuje tak dlouho, až se jeho povrch orosí. Teplota, při které dojde k orosení je rosný bod [15] [17].

Sorpční metody

Senzibilizovaný tuhý materiál mění sorpcí vlhkosti z plynu svůj elektrický odpor, délku nebo dielektrické vlastnosti. Vlhkost sorbovaná materiálem může vykazovat změnu jeho hmotnosti, objemu, permitivity (vliv látky na elektrické pole) nebo elektrického odporu. Podle toho jsou sorpční vlhkoměry rozděleny na dilatační, rezonanční, odporové, kapacitní a polovodičové. Sorpce je děj provázený vývojem tepla [15].

Rovnovážný elektrolytický vlhkoměr

Tato metoda je používána často v průmyslu. Na povrchu čidla je nanесena tenká vrstva chloridu lithného $LiCl$. Čidlo se ohřívá tak dlouho, dokud tlak par nad roztokem je stejný jako tlak v měřeném plynu [15].

Coulometrická metoda

Pomocí této metody jsou měřeny velmi malé obsahy vlhkosti. Tenká vrstva oxidu fosforečného P_2O_5 pohlcuje z měřeného plynu vlhkost, která se ihned elektrolyzuje proudem dodávaným z vnějšího zdroje. Proud je při konstantním průtoku plynu přímo úměrný vlhkosti plynu [15].

Absorpce infračerveného záření

Metoda je ideální pro stanovení malých obsahů vody. Při použití záření o vhodné vlnové délce, odpovídající vibracím molekuly vody, je jeho absorpce úměrná vlhkosti plynu [15].

Absorpce vysokofrekvenční energie

Od metody absorpce infračerveného záření se tato metoda liší používanou vlnovou délkou záření, a tím i instrumentální technikou [15].

Chromatografické metody

Vlhkost je stanovena s ostatními složkami analyzovaného plynu. Je nutné zvolit vhodný druh náplně a režim kolony [15].

Měření tepelné vodivosti

Analyzátory založené na měření tepelné vodivosti plynů jsou v průmyslu značně rozšířeny. Používají se hlavně při analýze binárních (dvojčlenných) směsí, kde jednotlivé složky plynu mají rozdílnou vodivost. Lze měřit i vlhkost plynů [15].

Měření sorpčního tepla

Při sorpci vlhkosti tuhými nebo kapalnými materiály dochází k uvolnění tepla. Množství vyvinutého tepla závisí na vlastnostech sorbetu, na jeho množství a na vlhkosti, na počátku sorpce, na množství sorbované vody a na teplotě [15].

Difúzní vlhkoměry

Molekuly vzduchu a vodní páry prostupují pórovitou přepážkou rozdílnou rychlostí. Ideální použití vlhkoměru je za podmínek, kdy parciální tlak vodní páry v okolním prostředí a parciální tlak vodní páry v nádobce jsou konstantní a při teplotách, kdy tlak vodní páry je dostatečně veliký [15].

5.4 Měření vlhkosti kapalin a tuhých látek

Metoda nukleární magnetické rezonance

Je měřena absorpce vysokofrekvenční energie pod vlivem magnetického pole. Tato metoda je vhodná pro biologické materiály. Rozlišuje volnou a vázanou vodu [15].

Absorpce a odraz infračerveného záření

Stejně jako vodní pára má i kapalná voda a led v infračervené oblasti spektra charakteristický absorpční pás. Spektrum je vlivem vodíkových vazeb složitější než u vodní páry a závisí na velikosti energie, kterou jsou molekuly vody poutány k materiálu. Pro měření se využívá hlavně blízká infračervená oblast, která je přístrojově snadno přístupná. Používá se jednoúčelových přístrojů bezdisperzního typu jako při měření vlhkosti plynů. Vlhkost transparentních kapalin lze měřit pomocí stejných přístrojů jako vlhkost plynů, rozdíl je pouze v délce kyvet (činí řádově milimetry, kdežto pro plyny se

používají kyvety dlouhé 1 m). Kyveta je laboratorní pomůcka pro měření optických vlastností roztoku. U tuhých materiálů se místo absorpce procházejícího záření měří odraz od povrchu. Jedná se o velice oblíbenou metodu, založenou na měření odrazu infračerveného záření. Pomocí tohoto faktu lze stanovit vlhkost u téměř všech druhů materiálů. Metoda je velmi selektivní a citlivá. [15]

Chemické metody

Využívá se chemické reakce vody, obsažené v materiálu, s některými určitými činidly. Na činidlo se kladou určité požadavky, a to: reakce činidla s vodou musí probíhat rychle a kvantitativně, musí být specifická pouze pro vodu a konec reakce musí být snadno zjistitelný. Za nejpoužívanější metodu lze označit metodu titrace podle K. Fischera [15].

V roce 1935 navrhl K. Fischer jednoduchou a přesnou metodu stanovení vody, která je v různých obměnách základem řady standardních metod. Vzorek analyzované látky se smíchá s bezvodým rozpouštědlem (nejčastěji methanolem) a titruje se roztokem obsahujícím jód, oxid siřičitý, pyridin a methanol. Stanovení obsahu vody Fischerovým činidlem je popsáno v normě ČSN 65 0330 [15].

Ultrazvukové metody

Na rychlost šíření ultrazvuku, příp. na jeho útlum v kapalinách a tuhých látkách, má vliv jejich složení a teplota. U většiny kapalin se ultrazvuk šíří rychlostí 800 až 2000 m/s, u tuhých látek rychlostí 2000 až 6000 m/s. U čisté vody, při teplotě 20 °C, je rychlost 1482,7 m/s. S teplotou se rychlost šíření ve vodě zvyšuje. Maxima dosahuje při teplotě 74 °C a potom klesá. Při konstantní teplotě je rychlost šíření do značné míry ovlivněna množstvím přítomné tuhé fáze, ač rozpuštěné nebo suspendované. Toho bylo využito k měření vlhkosti. Využití těchto metod je převážně v potravinářském průmyslu při stanovení

koncentrace sirupů. Je měřena rychlost šíření ultrazvuku v závislosti na množství vody [15].

Refraktometrická metoda

Tato metoda je založena na indexu lomu vody, který se používá v chemické laboratoři jako kritérium čistoty látek. Pokud je index lomu vody a měřené kapaliny rozdílný, může se vlhkost stanovit pomocí indexu lomu. Metoda ale nezaručuje, že i s velikým rozdílem v indexu lomu bude vlhkost stanovena přesně. Závislost indexu lomu na obsahu vody není pokaždé lineární a někdy vykazuje extrémy. Nejlepších výsledků se dosahuje při refraktometrickém stanovení vody v glycerolu [15].

Nepřímá metoda pomocí parciálního tlaku

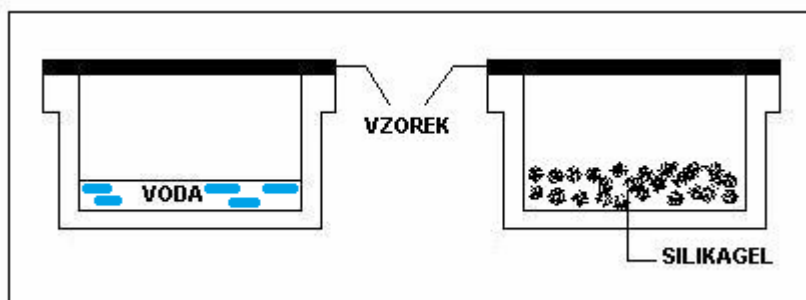
Jedná se o metodu při které se vlhkost kapaliny nebo tuhého materiálu usuzuje z výsledků měření v jiné fázi, nejčastěji plynné, přímo obklopující daný materiál. Jde tedy o nepřímé měření, např. zjišťováním parciálního tlaku vodní páry nad jeho povrchem [15].

Je-li tuhý materiál vložen do vlhkého prostředí, bude absorbovat nebo uvolňovat vlhkost až do doby, dokud se nedosáhne rovnováhy s tlakem vodní páry v okolí. Naopak tlak vodní páry v přímé blízkosti vlhké látky bude záviset na její vlhkosti. Je-li látka suchá, pak je tlak vodní páry nulový, je-li vodou nasycená, je tlak vodní páry roven tlaku vodní páry nad vodou při dané teplotě. Mezi těmito stavy může být tlak vodní páry označen jako míra vlhkosti. V praxi se většinou místo tlaku vodní páry měří relativní vlhkost [15].

Gravimetrická metoda

Gravimetrická metoda je základem normovaných postupů pro stanovení materiálů a slouží ke kalibraci jiných metod. Voda se odstraní ze vzorku sušením za stanovených podmínek a její množství se určí podle úbytku

hmotnosti po sušení nebo se odstraněná voda stanoví titračně. Vodu obsaženou v materiálu lze také uvolnit žíháním v proudu suchého vzduchu a zachytit jí v trubici naplněné chloristanem hořečnatým $Mg(ClO_4)_2$, chloridem vápenatým $CaCl_2$ nebo směsí oxidu fosforečného P_2O_5 a azbestu [15] [17].



Obrázek 14 – Gravimetrická metoda měření propustnosti textilií pro vodní páry [19]

Podle [19]:

Měření spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie na misku obsahující silikagel (vysoušedlo), zvážení misky se vzorkem G_0 před expozicí v klimatizační skříni, zvážení G_1 po šesti hodinové expozici (po uplynutí doby τ) a výpočtu relativní propustnosti P_{rel} ze vztahu [19]:

$$P_{rel} = (G_1 - G_0) / G_0 [\%]. \quad (11)$$

V případě výpočtu absolutní propustnosti se využije vztahu [19]:

$$P_{abs} = (G_1 - G_0) / S \times \tau [kg / m^2 / hod] \quad (12)$$

Nevýhodou metody je její zdlouhavost a nízká přesnost, dána časově nelineární sorpcí vysoušedla [19].

Gravimetrický vlhkoměr

Jedná se o sorpční vlhkoměr u kterého dochází k nevratné sorpci. Dokáže zjistit skutečnou hodnotu vodní páry v daném objemu (nebo hmotě) plynu, proto slouží ke kalibraci jiných vlhkoměrů [15].

5.5 Propustnost vlhkosti

Nebo-li propustnost vodních par.

Zkouška nepromokavosti

Nepromokavost se hodnotí podle třech norem ČSN 80 0856 [20]:

- **Waterrepellent = Vodo odpudivý**

Tato norma je pro materiály s povrchovou úpravou, impregnací, kalandrováním (zušlechťovací proces) nebo napuštěním. Na těchto materiálech se při kratším dešti vytvoří kapičky, které sklouznou. Při dlouhotrvajícím dešti, tzv. vyšší zátěži, voda proteče skrz materiál [20].

- **Waterresistant = Vodovzdorný**

Norma je vhodná pro vrstvené materiály, zatěrované na bázi polyuretanu, teflonu, akrylu a fluorkarbonu. Tyto materiály jsou vodovzdorné a jsou na vyšší úrovni než Waterrepellent. Test se provádí pomocí vodního sloupce. Materiál musí vydržet tlak 1,1 m vodního sloupce [20].

- **Waterproof = Vodotěsný**

Norma Waterproof je ideální pro materiály vodotěsné a vysoce nepromokavé. Mezi tyto materiály lze zařadit i Gore-tex. Této normě vyhovují materiály, které odolávají tlaku 1,3 m a výše vodního sloupce [20].

Zkouška nepromokavosti se provádí pomocí skleněného válce. Do skleněného válce je vháněn pumpou vzduch přes zkoušený materiál. Nad zkoušeným materiálem je prostor. Podle výšky vodního sloupce je možné stanovit normu nepromokavosti [22].

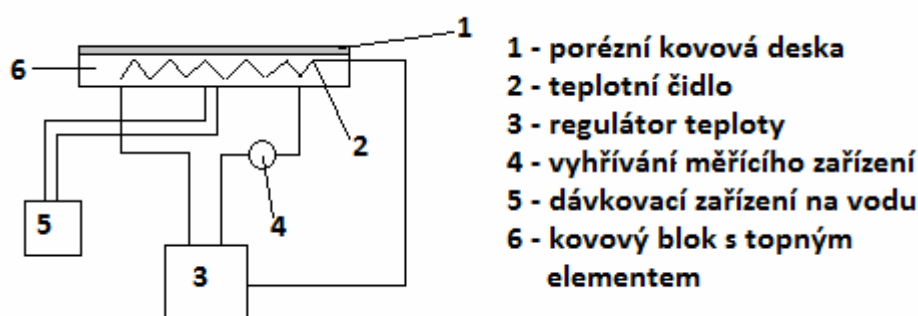
Samotná zkouška nepromokavosti se hodnotí v bioklimatické komoře, která je 6 m vysoká. Oblek je navlečen na nafukovací figurínu. Pod zkoušený oděv se obléká bavlněné tričko se zatkanou sítí drátů, které jsou založeny na elektrické vodivosti. Figuríny se pohybují v bioklimatické komoře po dobu jedné hodiny. Pokud se v určitém místě objeví chyba oděvu, voda proteče až na bavlněné tričko, kde jsou rozmístěna čidla. Je zaznamenán okamžik, kdy voda pronikne k senzorům na vnitřní stranu oděvu. V daném místě je materiál porušený. Tímto způsobem se hodnotí vodotěsnost švů oděvu [22].

Měření pomocí přístroje Permetest

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržována na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20 – 30 °C), který je do přístroje nasáván. Tím jsou zajištěny izotermické (probíhající při stejné teplotě) podmínky měření. Při měření se vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která přes separační fólii prochází vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu [19].

Zkouška za stacionárních podmínek

Zkušební vzorek se umístí na elektricky vyhřívanou desku o teplotě 35 °C, obtékanou vzduchem proudícím paralelně s jeho povrchem desky o rychlosti 1 m/s a teplotě 20 °C, při měření tepelného odporu, nebo 35 °C při měření propustnosti pro vodní páry. Po dosažení ustálených podmínek celého systému, což trvá několik hodin, se měří vhodným přístrojem (elektrickým wattmetrem) příkon vytápěné desky [19].



Obrázek 15 - Měřící jednotka s kontrolou teploty a přívodem vody [19]

Pro určování propustnosti textilie pro vodní páry je vyhřívaná porézní deska pokryta celofánovou membránou propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. V důsledku odparu, jehož intenzita je přímo úměrná propustnosti textilie pro páru, teplota desky má tendenci klesat. Tepelný příkon přiváděný do desky s cílem udržovat původní teplotu desky, je pak mírou propustnosti textilie pro páru. Aby při měření tohoto příkonu byly sníženy tepelné ztráty do okolí, je porézní měřící deska ze stran i zdola obklopena elektronicky stabilizovanou izotermní plochou [19].

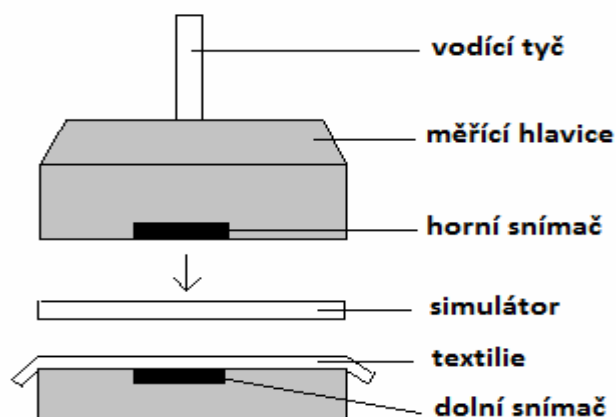
Nevýhodou tohoto způsobu měření tepelného příkonu a tedy i termofyziologických vlastností textilií je vysoká tepelná setrvačnost celého zařízení. Jedno měření pak může trvat i více než jednu hodinu. Během této doby často dochází ke kondenzaci vlhkosti ve vlastním vzorku. Výsledek měření tak bývá zkreslen [19].

5.6 Vlhkostní jímavost textilií

Tato nepřímá metoda určování stupně jímavosti textilií se realizuje pomocí přístroje Alambeta, ve kterém se simuluje a objektivně hodnotí tepelně kontaktní vjem mezi vlhkou pokožkou a suchou textilií, jestliže dojde ke krátkodobému kontaktu pokožky s textilií. Jinými slovy se jedná o měření tepelné jímavosti textilie, která je v kontaktu s modelem vlhké lidské pokožky nahrazenou textilním úpletem Coolmax-FC 205 (plošná hmotnost je 170 g/m^2), který je zvlhčen 0,2 ml roztoku vody s příměsí detergentu 1:50 (syntetický prací, čistící prostředek obsahující účinné složky), na přístroji Alambeta [19].

Podstata zkoušky

Měření vlhkostní jímavosti textilií na měřícím přístroji Alambeta spočívá v hodnocení úrovně tepelného toku $q(t)$ procházejícího horním povrchem vlhčeného vzorku, který simuluje vlhkou (zpocenou) lidskou pokožku a který je v kontaktu s povrchem měřeného vzorku. Po vzájemném kontaktu obou textilií pod definovaným přtlakem dochází v důsledku povrchové sorpce k odvodu vlhkosti z „modelu“ pokožky a vedení vlhkosti mimo ploch snímačů tepelného toku. Textilie o vyšší sorpci a vyšším kapilárním odvodu vlhkosti pak více zbaví „model“ pokožky vlhkosti a vykáže sušší (teplejší) omak a naopak [19].



Obrázek 16 - Způsob měření vlhkosti na přístroji Alambeta [19]

5.7 Zkouška povrchového smáčení

Zkouškou ČSN EN 24 920 [21] se u textilií stanovuje míra odpudivosti k vodě. Skrápěcí zařízení tvoří svisle umístěná nálevka o průměru 150 mm a kovová trubice s vypouklým povrchem s 19 otvory o průměru 0,9 mm připevněná pryžovou hadicí na výtokový otvor. Vzdálenost mezi horním okrajem nálevky a spodním okrajem skrápěcí trubice je 190 mm. Doba výtoku předepsaného objemu 250 mm vody z nálevky je 25 až 30 sekund [21].

Vzorek zkoušené látky je umístěn pod úhlem 45° ve vzdálenosti 150 mm pod skrápěcí trubicí. Poté je skrápěn 250 mm destilované nebo deionizované vody (voda zbavená všech iontově rozpustných látek a křemíku). Skropený povrch vody se pak hodnotí vizuálně. Na povrchu mohou být pouze drobné kapky vody, látka nesmí jevit stopy po smočení. Stupeň skrápění se stanoví porovnáním povrchu s předepsanou srovnávací stupnicí. Zkouška se provádí pouze u vnějšího materiálu oděvní součásti a jsou k ní zapotřebí tři vzorky o rozměru 180x180 mm. Podle ČSN EN 469 musí oděvní sestava vykazat stupeň smáčení ≥ 4 [21].

5.8 Zkouška sprchováním při pohybu

Podstatou zkoušky podle ČSN EN 468 [23] je stanovit odolnost oděvu proti průniku kapaliny. Zkušební osoba je oblečena do ochranného oděvu a vybavena dalšími osobními ochrannými prostředky, tj. rukavice, obuv, ochranný štít, maska. Figurant se postaví na otočný stolek a po dobu jedné minuty je postříkován kapalinou, přičemž střídavě zvedá nohy a pohybuje pažemi. Rozstřikovací zařízení o výšce 2,35 m tvoří čtyři trysky s kuželovým otvorem a úhlem rozstřiku 75°. Každá tryska má průtok 1,14 l/min při tlaku 300 kPa. Vzájemná vzdálenost trysek je 45 cm. Po zkoušce se nechá oděv dvě minuty okapat a prohlédne se vnější a vnitřní povrch. Zaznamená se místo, počet a rozsah průniku kapaliny [23].

6 KALIBRACE PŘÍSTROJŮ

Kalibrace zahrnuje úkony, kterými se za specifických podmínek stanoví vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřícím přístrojem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony. Zjednodušeně řečeno se jedná o nastavení přístroje [15].

6.1 Kalibrace a kontrola vlhkoměrů

Vlhkoměry se můžou zařadit mezi analyzátory, které se musí cejchovat (kontrolovat). Cejchování se provádí už ve výrobě, takže vlhkoměr je již ocejchován v příslušných jednotkách. Někdy se stane, že jsou stupnice v bezrozměrných dílcích a k přístroji se dodávají kalibrační grafy nebo tabulky, které jsou pro různé materiály různé. Uživatel musí kontrolovat činnost přístroje a ověřit údaje na jeho stupnici, čili provést kalibraci [15].

Při kalibraci vlhkoměru se nejdříve připraví deset vzorků o definované vlhkosti tak, aby se přibližně pokryl rovnoměrně předpokládaný rozsah přístroje. Každý vzorek se změří několikrát, ideálně 10x, a následně se vypočítá směrodatná odchylka. Je ideální současně měřit každý vzorek nějakou nezávislou metodou. Tím se docílí lepšího odhadu chyb [15].

6.2 Rozbor chyb

I to nejpečlivější měření je zatíženo chybou. Za chybu d je označen rozdíl mezi naměřenou hodnotou x_i a skutečnou hodnotou μ : $d = x_i - \mu$. Pokud $x_i > \mu$, je chyba kladná. Naopak chyba je záporná pokud $x_i < \mu$. Takto vyjádřená chyba se nazývá absolutní. Relativní chyba e je rozdíl mezi skutečnou a naměřenou hodnotou, vztažený na skutečnou hodnotu, potom:

$e = \frac{d}{\mu} \times 100[\%]$. Chybu přístroje nemůžeme nikdy přesně zjistit, protože neznáme správnou hodnotu μ [15].

Při kalibraci přístrojů se nejprve připraví vzorky materiálu o definované vlhkosti a její hodnota se porovná s údajem, který se naměří při jejím stanovení kalibrovaným přístrojem [15].

Také vlhkost standardních vzorků je zatížena chybou. Celkovou chybu vlhkoměru můžeme pouze odhadnout pomocí zákonů statistiky. Odhad chyb se zjednoduší, zavedeme-li předpoklady [15]:

1. Srovnávací vzorek vlhkého materiálu je připraven s přesností několikanásobně větší, než je předpokládaná přesnost kalibrovaného přístroje.
2. Rozložení chyb se řídí normálním Gaussovým rozdělením.

Aby se dala odhadnout velikost náhodných chyb, musí se každé měření několikrát (nejčastěji 10x) opakovat. K vyjádření velikosti náhodných chyb se využívá směrodatné odchylky. Výpočet směrodatné odchylky je podle vztahu [15]:

$$s = \sqrt{\left[\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]}, \quad (13)$$

kde x_i je hodnota naměřená při i-tém měření, \bar{x} je střední hodnota (průměr) všech měření, n je celkový počet měření. Z Gaussova rozdělení plyne, že 68 měření ze 100 není zatíženo větší chybou než $\mu \pm s$ [15].

Vedle systematických a náhodných chyb dochází při měření také k chybám subjektivním, které jsou způsobené nesprávnou obsluhou měřících přístrojů. Nejčastější subjektivní chybou je nerespektování dynamických vlastností vlhkoměrů nebo podceňování vlivu teploty na údaj vlhkoměru [15].

6.3 95% konfidenční interval

Konfidenční interval, nebo-li interval spolehlivosti pro danou veličinu, je takový interval od střední hodnoty, ve kterém se zvolenou pravděpodobností $(1 - \alpha)$ se nachází daná veličina. Je-li dosazeno $\alpha = 0,05$, pak se jedná o 95% interval spolehlivosti. Jestliže je potřeba stanovit přesnost odhadu jako odlišnost odhadu od odhadovaného parametru a zároveň spolehlivost tvrzení o dosažené přesnosti odhadu, použije se intervalový odhad. Odhadovaný parametr (konkrétně střední hodnota normálního rozdělení μ) v tomto případě nebude odhadován pouze prostřednictvím jednoho čísla (\bar{x}), ale dvěma číselnými hodnotami, které tvoří meze tzv. intervalu spolehlivosti, resp. konfidenčního intervalu. Meze tohoto intervalu jsou značeny L_d pro dolní hranici intervalu a L_h pro horní hranici [24].

Konstrukce konfidenčního intervalu

Předpokladem je, že náhodný výběr byl vybrán ze základního souboru s normálním rozdělením pravděpodobnosti výskytu náhodně proměnné veličiny. Bodovým odhadem střední hodnoty rozdělení je výběrový průměr. Dá se dokázat z pravidla 6σ , že v intervalu $\mu \pm 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ leží přibližně 99,73 % hodnot náhodné veličiny, která se nazývá průměr \bar{x} z náhodného výběru o rozsahu n [24].

Rozsah konfidenčního intervalu se vypočítá ze vztahu [24]:

$$\bar{x} - 1,96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + 1,96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (14)$$

který znamená, že s 95% pravděpodobností se střední hodnota vyskytuje ve vypočítaném intervalu. Po zavedení náhodné veličiny $t = \frac{\bar{x} - \mu}{S} \times \sqrt{n}$, která má tzv. Studentovo výběrové rozdělení použijeme kvantily Studentova výběrového rozdělení $t_{\alpha(n-1)}$, které jsou tabelovány. Většinou se v praxi využívá vztahů [24]:

$$L_d = \bar{x} - t_{\alpha(n-1)} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \text{ pro dolní mez intervalu spolehlivosti}$$

$$L_h = \bar{x} + t_{\alpha(n-1)} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \text{ pro horní mez intervalu spolehlivosti}$$

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka určuje míru rozptylu od střední hodnoty. Je zobrazena ve stejných jednotkách jako měřená veličina. V této práci tedy v g / cm^2 [34].

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Gravimetrická metoda I

7.1.1 Vlastní měření

Pro experimentální zjištění přestupu vlhkosti textilním materiálem bylo použito gravimetrické metody, která se obecně používá pro hodnocení vodních par. Cílem zkoušky bylo stanovit množství páry, která projde vzorkem o ploše za danou dobu, při dané teplotě a vlhkosti vzduchu.

Místnost, kde se prováděla zkouška byla klimatizovaná. Bylo provedeno šest měření, kde se teplota místnosti pohybovala od 20,4 °C do 28 °C a vlhkost vzduchu v místnosti byla od 34 % do 44 %. Pokaždé bylo testováno 7 vzorků. Každý vzorek se skládal ze tří vrstev, tj. z podšívky, membrány a vrchní vrstvy. Z testovaných textilií byly odstříhnuty vzorky o velikosti cca 110 x 110 mm. Celá oděvní soustava byla upevněna na kádinku, která měla kruhový průřez o průměru $d = 4,6$ cm. Tímto kruhovým průřezem procházela vodní pára. K vyjádření množství páry, která projde vzorkem o dané ploše, se proto využívalo plochy kruhu. Plocha kruhu se dá vyjádřit $\frac{\pi \times d^2}{4}$, po dosazení výsledná plocha, která je vystavována vodní páře, činí $16,619 \text{ cm}^2$. Ke zjišťování hmotnosti byly použity váhy s rozsahem do 1000 g, s přesností 0,01 g.

Pot je složen z 99 % vody a 1 % minerálních látek (sodík, hořčík, draslík, vápník), stopových prvků (železo, měď, zinek, olovo, chrom, nikl), laktátu a močoviny. Minerální složení se mění v závislosti úrovně aklimatizace na teplo, pocení při cvičení, trvání pocení a složení minerálu v těle [28]. Přesné složení potu je individuální, hustota potu se dá proto určit pouze ve vztahu k danému jedinci, ne celoplošně. Vzhledem k tomu, že tématem práce je především vyzkoušet různé metodiky měření a možnosti aplikace norem na sendvičový

materiál i na jednotlivé vrstvy, bylo proto rozhodnuto, že při zkoušce nebude použit pot či jeho náhrada, ale destilovaná voda, která má maximální hustotu 1000 kg/m^3 při $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, shodnou s povrchovou vodou. Oproti běžné povrchové vodě neobsahuje žádné minerální látky a získá se destilací povrchové vody [28].

Klimatizační skříň odpovídá požadavkům normy ČSN 77 0332 [29]. Rychlost proudění vzduchu je v každém místě klimatizační komory jiná, a to až 5 m/s . Bylo potřeba nastavit stejné podmínky rychlosti proudění vzduchu, a to co nejpřesněji na 1 m/s , neboť tuto rychlost vzduchu vyžadují všechny normy na hodnocení paropropustnosti textilií. Uvnitř klimatizační komory byla instalována přepážka, která eliminovala vysoké proudění vzduchu. Pomocí vrtulkového anemometru, viz. příloha č. 10, bylo ověřeno proudění vzduchu cca 1 m/s .

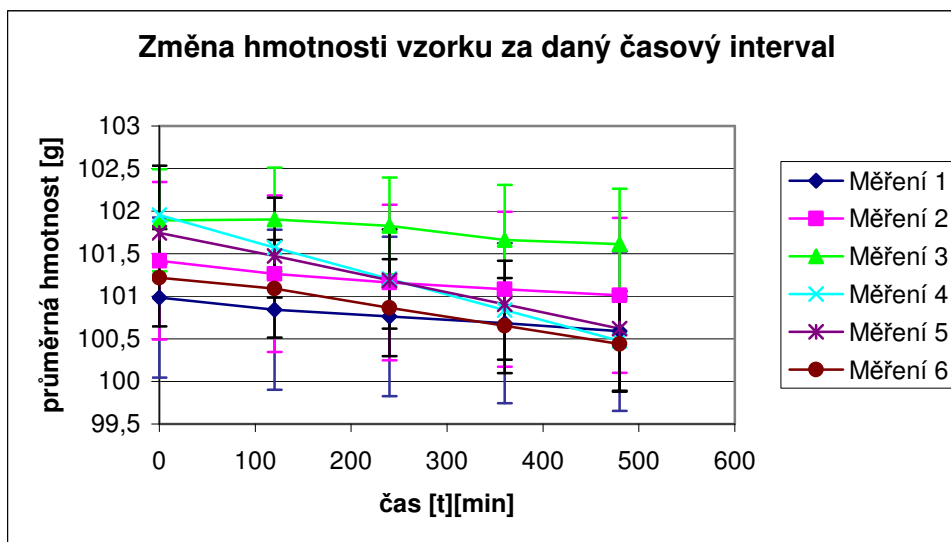
Celá oděvní soustava byla upevněna na nádobku s 50 ml destilované vody a byla umístěna do klimatizační skříně, kde pro jednotlivá měření byly stanoveny rozdílné testovací podmínky. Pro tuto metodu byly nastaveny dvě teploty a tři relativní vlhkosti. Teplota byla nejdříve nastavena na $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, což je podle normy ČSN 77 0332 [29] minimální možná teplota pro testování touto metodou. Tělesná teplota organismu je $36 - 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Povrch periferních částí těla je chladnější než vnitřní orgány. Hasič je při zásahu vystaven vysokým tepelným podmínkám, ve kterých někdy nevydrží více jak 10 minut , proto byla druhá teplota klimatizační komory stanovena na $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Norma ČSN 77 0332 [29] požaduje nastavení relativní vlhkosti vzduchu od 65% do 90% . Takto vysoká hodnota nastavení relativní vlhkosti, až 90% , je normou velmi neuvážená, neboť v tomto případě nízkého rozdílu parciálních tlaků je i přenos vlhkosti velmi nízký, přirozené kolísání vlhkosti vzduchu v rámci regulačního intervalu je relativně vysoké, takže měření bude pomalé a nepřesné. Parametry relativní vlhkosti klimatizační skříně byly proto nastaveny pro obě teploty na 30% , 45% a 60% , což mělo za následek zvýšení rozdílu parciálních tlaků vodní páry a tím i zvýšení přesnosti měření. Jednotlivé parametry měření poskytuje přehledněji tabulka č. 5.

Tabulka 5 – Přehled parametrů pro jednotlivá měření I

Měření	Teplota	Vlhkost
Měření 1	20 °C	30 %
Měření 2	20 °C	45 %
Měření 3	20 °C	60 %
Měření 4	40 °C	30 %
Měření 5	40 °C	45 %
Měření 6	40 °C	60 %

Norma ČSN 77 0332 [29] udává dobu zkoušky na 8, 16 nebo 24 hodin. Doba testování vzorků byla stanovena na 8 hodin, kde každé dvě hodiny docházelo k opětovnému zvážení. Jak se změnila hmotnost zkoušených vzorků včetně kádinky, vody, gumičky a oděvní soustavy, za daný časový interval, ukazuje graf č. 1.



Graf 1 - Změna hmotnosti vzorku za daný časový interval I

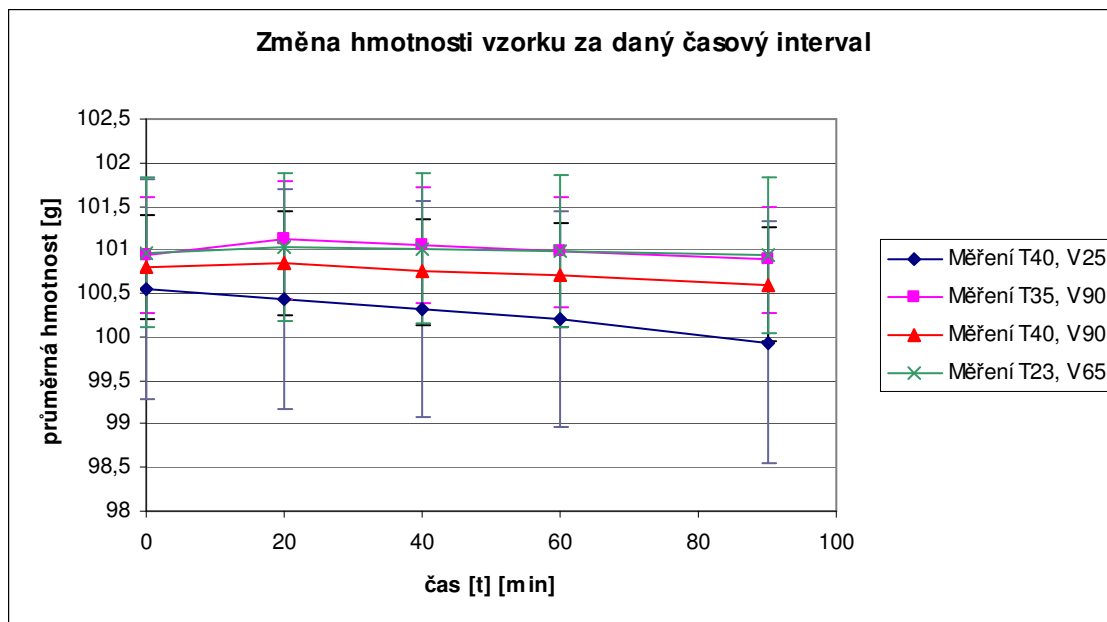
Podle normy ČSN EN ISO 6179 (804630) je výsledkem počáteční zvýšení propustnosti a následný rovnovážný stav [30]. Jelikož byly jednotlivé vzorky měřeny v intervalu po dvou hodinách, nebyl tento předpoklad zaznamenán.

Pouze ve třetím měření, kde byla největší relativní vlhkost (60 %), bylo zaznamenáno počáteční zvýšení propustnosti a následné klesání. Toto ale nebylo potvrzeno pokud se teplota zvýšila o 20 °C. Bylo proto využito dřívějších měření a získaných dat. Jednotlivé vzorky byly měřeny po 20, 60, a 90 minutách. Pro tento případ byly pozměněny parametry měření, viz. tabulka č. 6.

Tabulka 6 – Přehled parametrů pro jednotlivá měření II

Měření	Teplota	Vlhkost
Měření T40, V25	40 °C	25 %
Měření T35, V90	35 °C	90 %
Měření T40, V90	40 °C	90 %
Měření T23, V65	23 °C	65 %

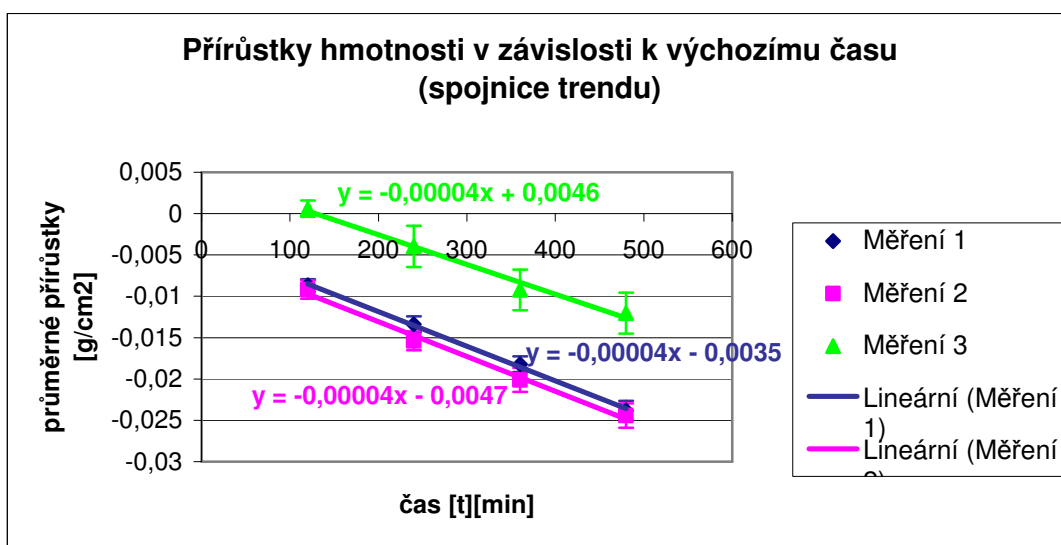
Jak se změnila hmotnost zkoušených vzorků včetně kádinky, vody, gumičky a oděvní soustavy, za daný časový interval, ukazuje graf č. 2.



Graf 2 - Změna hmotnosti vzorku za daný časový interval II

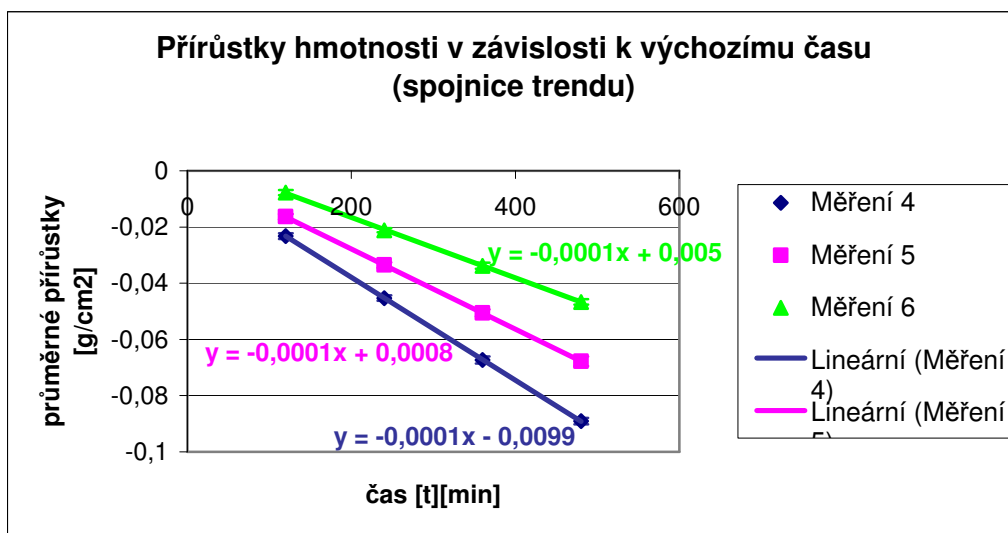
Byla-li nastavena klimatizační komora na určitou vlhkost, je možné s předpokladem normy souhlasit. Jak ale ukazuje měření T40, V25, kde nebyla nastavena relativní vlhkost, nenastává počáteční nárůst hmotnosti, ale již od počátku tato hodnota klesá a dokonce se postupně úbytky zvyšují. Dá se proto konstatovat, že zásadnější vliv na počáteční zvýšení prostupnosti a následné klesání má relativní vlhkost, než teplota.

Detailnější přehled změny hmotnosti vzorku v závislosti na výchozím čase ukazuje graf č. 3 a č. 4.



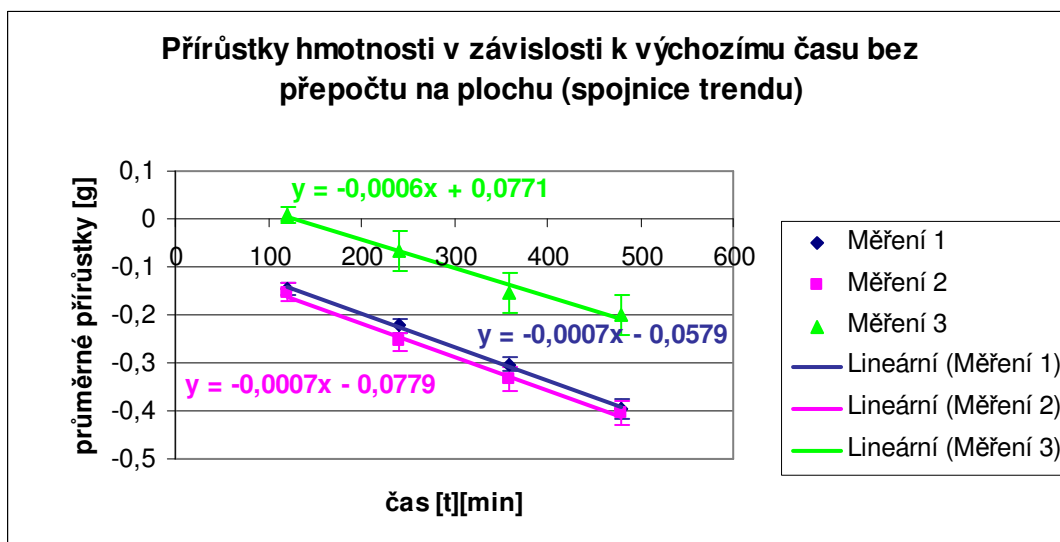
Graf 3 - Spojnice trendu I

Jelikož jsou výsledné hodnoty záporné, je správný název grafu „Přírůstky hmotnosti“. Jelikož jsou tyto přírůstky záporné, jedná se ve výsledku o úbytky. Proto se dále bude mluvit o úbytcích.

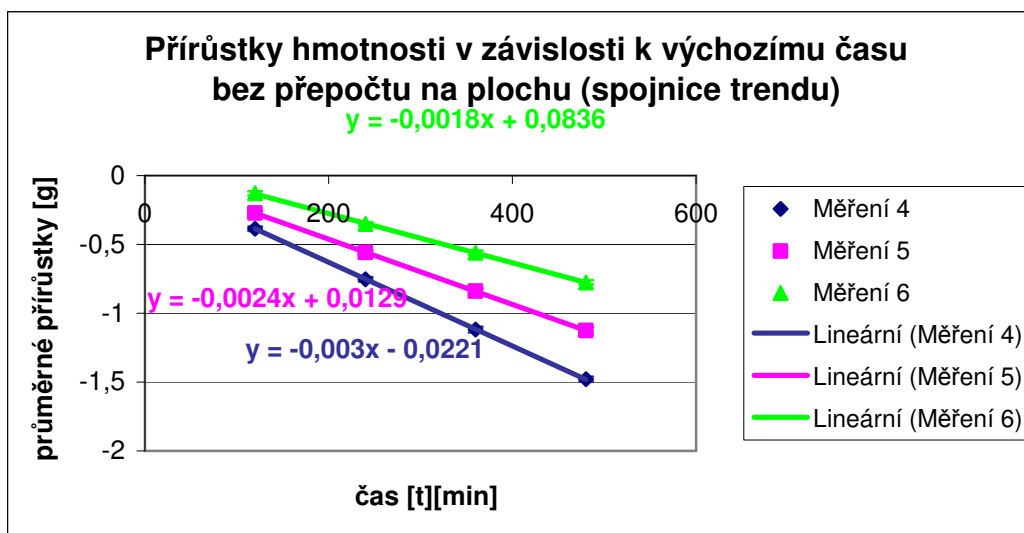


Graf 4 - Spojnice trendu II

Jednotlivé úbytky hmotnosti jsou vztaženy na plochu $16,619 \text{ cm}^2$. Z grafu č. 3 a č. 4 nelze určit které měření mělo největší či nejmenší úbytky. Aby byl zachován trend a byly viditelné rozdíly v jednotlivých měřeních jsou následující grafy č. 5 a č. 6 bez převodu na jednotku plochy.



Graf 5 - Spojnice trendu III



Graf 6 - Spojnice trendu IV

Z grafu č. 5 a č. 6 je patrné, že největší úbytky hmotnosti jednotlivých vzorků byly zaznamenány ve čtvrtém měření, kde byla nejnižší relativní vlhkost (30 %), tj. vlhkost okolí byla nízká, proto rychlost výměny vlhkosti z kádinky do okolí byla vyšší, a nejvyšší teplota (40 °C). Naopak nejmenší úbytky hmotnosti zaznamenalo třetí a šesté měření, kde byla nastavena největší relativní vlhkost (60 %). Ze závislosti obou grafů se dá vyvodit závěr, že zvýšením teploty se zvyšují úbytky hmotnosti. Tento teoretický předpoklad byl potvrzen. Dále lze konstatovat, že největší vliv na úbytky hmotnosti má relativní vlhkost. Čím nižší vlhkost vzduchu, tím je výměna vlhkosti z kádinky do okolí rychlejší. Snížení teploty má za následek snížení úbytků hmotnosti. Čím vyšší teplota vzduchu, tím je výměna vlhkosti z kádinky do okolí rychlejší.

7.1.2 Výpočet propustnosti

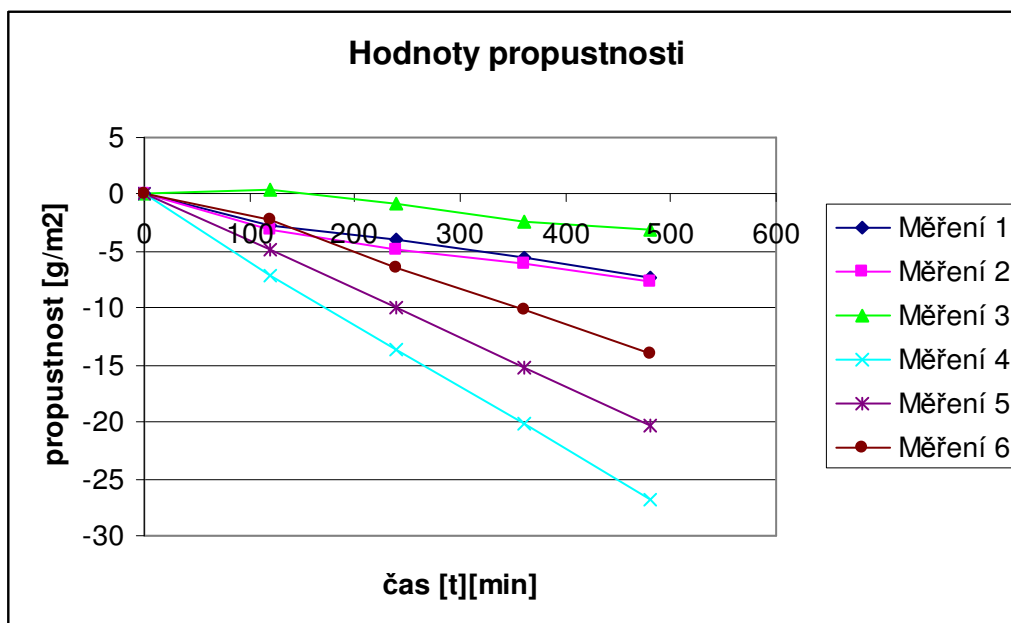
Pro výpočet propustnosti je použit vzorec z normy ČSN EN ISO 6179 (804630) [30]:

$$Q = \frac{10 \times Kn}{A} \text{ [g / m}^2\text{]}, \quad (15)$$

kde Kn je medián průměrných hodnot 7 vzorků [mg/hod] a A je plocha zkušebního vzorku [cm^2] vystavovaná kapalině. Přehled všech výsledných hodnot propustnosti pro jednotlivá měření za daný časový interval ukazuje tabulka č. 7. Pro lepší přehled jsou výsledné hodnoty zaznamenány v grafu č. 7.

Tabulka 7 – Výsledné hodnoty propustnosti

Měření	Čas [min]	Q [g/m2]
1	0	0
	120	-2,72
	240	-3,98
	360	-5,61
	480	-7,24
2	0	0
	120	-3,08
	240	-4,89
	360	-6,16
	480	-7,6
3	0	0
	120	0,36
	240	-0,72
	360	-2,35
	480	-3,17
4	0	0
	120	-7,06
	240	-13,58
	360	-20,09
	480	-26,79
5	0	0
	120	-4,89
	240	-9,96
	360	-15,21
	480	-20,28
6	0	0
	120	-2,17
	240	-6,52
	360	-10,14
	480	-13,94

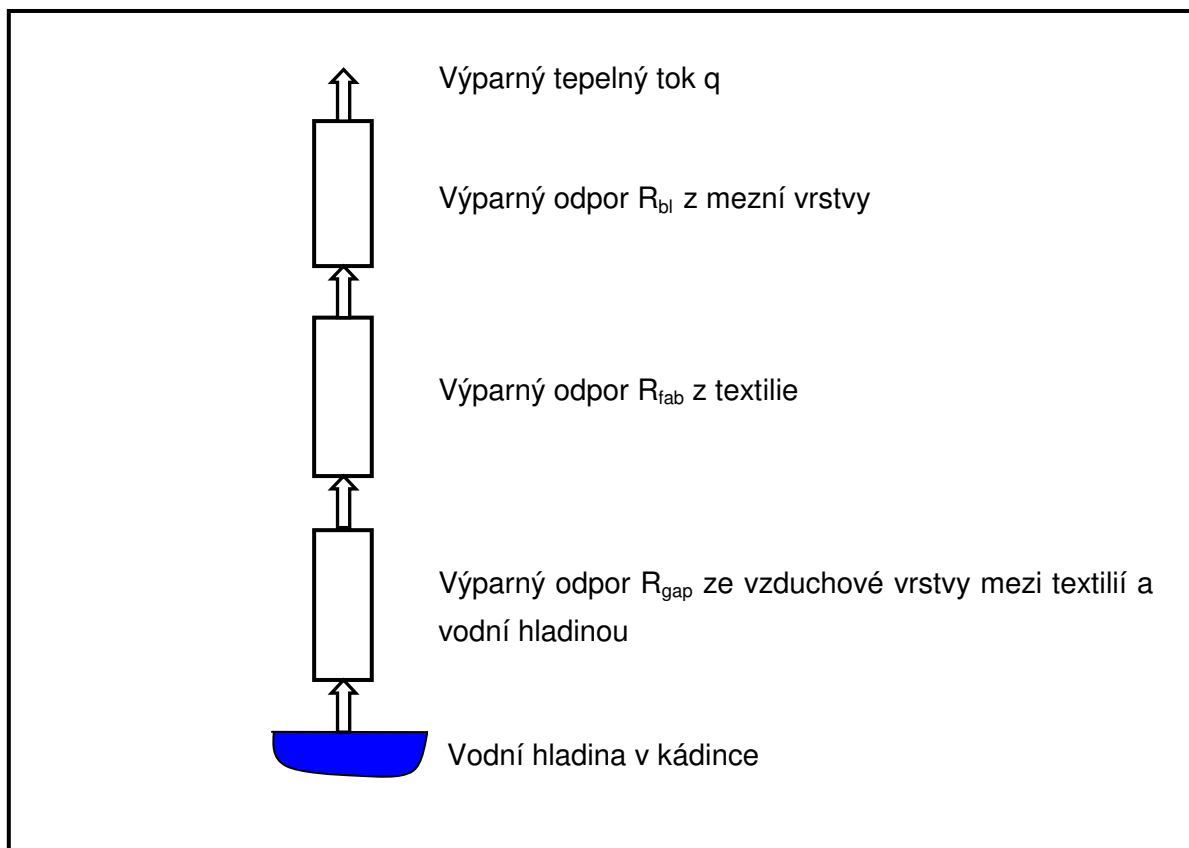


Graf 7 – Hodnoty propustnosti

Z výpočtu propustnosti byly potvrzeny dříve zmíněné výsledky. Z výsledných hodnot je opět možné konstatovat, že největší hodnoty propustnosti byly zaznamenány ve čtvrtém měření, kde byla nastavena největší teplota (40 °C) a nejnižší relativní vlhkost (30%). Tyto nastavené parametry měření mají za následek větší hodnoty propustnosti a tím i výraznější úbytky hmotnosti jednotlivých vzorků. Naopak nejmenší hodnoty propustnosti byly zaznamenány ve třetím a šestém měření, kde byla naopak nastavena největší relativní vlhkost (60 %). Lze opět vyvodit závěr, že rostoucí teplota a nižší relativní vlhkost zvyšuje prostupnost a naopak.

Gravimetrická metoda podle normy ČSN 77 0332 [29] byla pro tato měření účinná. Norma ale pracuje s maximální teplotou 35 °C, kterou je vhodné modifikovat na dříve zmíněnou teplotu 40 °C, aby bylo docíleno podmínek hasiče při jeho zásahu.

7.1.3 Teorie přenosu vlhkosti u gravimetrické metody I [26]



Obrázek 17 – Teorie přenosu vlhkosti u gravimetrické metody I

Výparný odpor R [$\text{Pa} \times \text{s} \times \text{m}^2 / \text{kg}$] z relativně úzké vzduchové vrstvy R_{gap} , bez přítomnosti volné konvekce, může být popsán rovnicí:

$$R_{\text{gap}} = \frac{h}{D_p} [\text{Pa} \times \text{m}^2 / \text{W}], \quad (16)$$

kde h je tloušťka vzduchové vrstvy [m^2].

Výparný odpor z mezní vrstvy R_{bl} může být popsán rovnicí:

$$R_{bl} = \frac{1}{\beta} [Pa \times s \times m^2 / kg] \quad (17)$$

Koeficient přestupu hmoty β je úměrný rychlosti vzduchu v , pak:

$$\beta = C \times v^{1/2} \quad (18)$$

Celkový výparný odpor R_{tot} je dán součtem výparného odporu R_{bl} z mezní vrstvy, výparného odporu R_{fab} z textilie a výparného odporu R_{gap} ze vzduchové vrstvy mezi textilií a vodní hladinou.

$$R_{tot} = R_{bl} + R_{fab} + R_{gap} \quad (19)$$

Výparný odpor ze vzduchové mezery výrazně snižuje propustnost vodní páry, navíc se tloušťka vzduchové mezery po dobu měření stále zvyšuje.

Přenesené množství výparného odporu za daný čas přes plochu A je možno vyjádřit vztahem:

$$m^* = A \times (p_{sat} - p_{air}) / R_{tot} \quad [kg / m^2 \times s], \quad (20)$$

kde p_{sat} je nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřící jednotky [Pa] a p_{air} je parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa].

Závislost přeneseného množství výparného odporu za čas τ je možno vyjádřit vztahem:

$$m_{\tau} = A \times (p_{sat} - p_{air}) \times \tau / R_{tot} \quad (21)$$

Nyní si představme prostupnost vodní páry WVP [$\text{kg}/(\text{m}^2 \times 24\text{hod})$] podle různých standardů:

$$\begin{aligned}
 WVP &= \Delta m / (A \times \tau) = 86400 m_\tau \\
 WVP &= 86400 \times (p_{\text{sat}} - p_{\text{air}}) / R_{\text{tot}} \\
 WVP &= 86400 \times (p_{\text{sat}} - p_{\text{air}}) / (R_{\text{bl}} + R_{\text{fab}} + R_{\text{gap}}) \\
 WVP &= 86400 \times [p_{\text{sat}}(t) - p_{\text{air}}(t)] / \left(\frac{h}{D_p} + R_{\text{fab}} + \frac{1}{\beta} \right)
 \end{aligned} \tag{22}$$

V těchto rovnicích je dílčí tlak vodních par silně závislou funkcí teploty vzduchu.

Maximálně možný parciální tlak vodní páry p_{sat} v nasyceném stavu:

20°C	$p_{\text{sat}} = 2337 \text{ Pa}$
21°C	$p_{\text{sat}} = 2486 \text{ Pa}$
22°C	$p_{\text{sat}} = 2642 \text{ Pa}$
28°C	$p_{\text{sat}} = 3778 \text{ Pa}$
35°C	$p_{\text{sat}} = 5622 \text{ Pa}$
40°C	$p_{\text{sat}} = 7375 \text{ Pa}$

Je patrné, že p_{sat} velmi rychle vzrůstá s teplotou vlhkého vzduchu [34]

Difúzní koeficient vodní páry D_p procházející vzduchovou vrstvou je slabou funkcí teploty vzduchu. Tudiž, změna testovací teploty příliš difúzní koeficient D_p neovlivňuje.

20°C	$L = 2454 \text{ kJ/kg}$
21°C	$L = 2451 \text{ kJ/kg}$
22°C	$L = 2449 \text{ kJ/kg}$
28°C	$L = 2453 \text{ kJ/kg}$
35°C	$L = 2418 \text{ kJ/kg}$
40°C	$L = 2407 \text{ kJ/kg}$

L je výparné teplo [kJ/kg].

Jestliže vlhkost okolního vzduchu je stále 50 %, zvyšuje se testovací teplota z 20 °C na 35 °C, tím se zvýší rozdíl parciálních tlaků vodní páry (hnací síla) až 2,4 krát. Proto textilie vystavující WVP 5000 $g/m^2/24hod.$ by dosáhla WVP 12000 $g/m^2/24hod.$ Takto chybný proces měření by mohl zapříčinit velké problémy pro výrobce oděvů a jejich zákazníky.

Velmi negativní dopad na přesnost měření vykazuje závislost na tloušťce vzduchové vrstvy mezi vodou a textilií. S rostoucím časem měření tloušťka vzduchové vrstvy roste, takže velmi propustná textilie, která zapříčiní větší tloušťku vzduchové vrstvy se stane méně propustnou než je ve skutečnosti. Měření má pak nelineární charakter.

Tento problém byl v této práci vyřešen použitím tzv. obrácené gravimetrické metody, s vodou uvnitř kelímku, který je dle návrhu L. Hese opatřen PTFE membránou přilepenou k vnější obvodové hraně lehkého kelímku z PVC. Nicméně výše zmíněné případné změny teploty a rychlosti okolního vzduchu mohou i nadále negativně ovlivňovat přesnost měření. Tyto faktory lze však snadno eliminovat umístěním měřicí soupravy do klimatické komory, což bylo použito v dalším postupu.

7.2 Gravimetrická metoda II

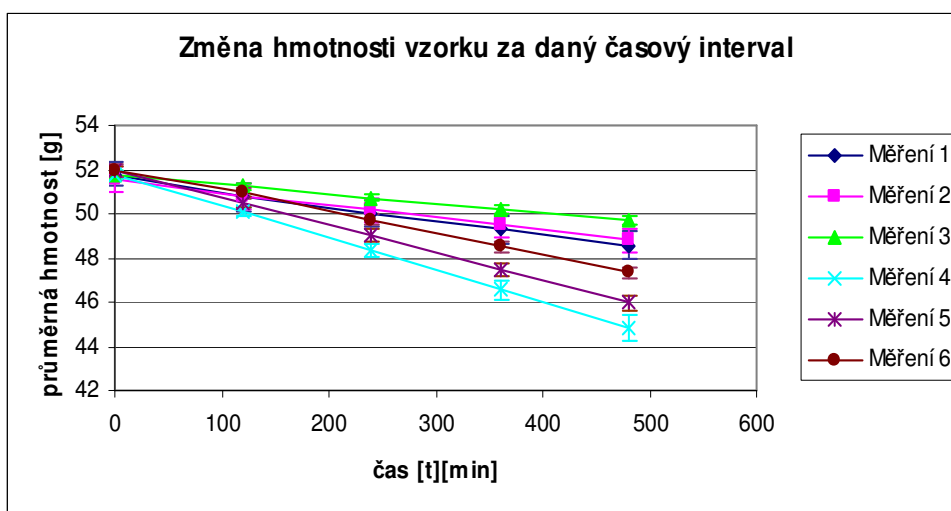
Gravimetrická metoda II nebo-li obrácená gravimetrická metoda. Jak už bylo zmíněno dříve, z důvodu rostoucí tloušťky vzduchové vrstvy mezi vodní hladinou a textilií a tím negativního dopadu na přesnost měření bývá v poslední době gravimetrická metoda I nahrazována více používanou převrácenou kelímkovou metodou.

Místnost, kde se prováděla zkouška byla klimatizovaná. Bylo provedeno opět šest měření, kde se teplota místnosti pohybovala od 22,3 °C do 26,9 °C a vlhkost vzduchu v místnosti byla od 36 % do 52 %. Pokaždé bylo testováno 5 vzorků. Každý vzorek se skládal ze tří vrstev, tj. z podšívky, membrány

a vrchní vrstvy. Na kelímek byla připevněna speciální polopropustná membrána, která je schopna zadržet vodu v kapalně formě a propouštět ji na textilií pouze ve formě páry. Tím je vodní hladina ve vzdálenosti od testované textilie konstantní a výparný odpor ze vzduchové mezery je nahrazen nízkým výparným odporem z PTFE polopropustné folie. Na tuto membránu byla upevněna celá oděvní soustava. Následně se kelímek otočil o 180° a byl doplněn obsahem 40 ml destilované vody. Kelímek byl poté v této pozici vystaven expozici. Tímto byla eliminována vzduchová vrstva mezi vodní hladinou a textilií. Bylo docíleno přesnějšího způsobu měření než u gravimetrické metody I.

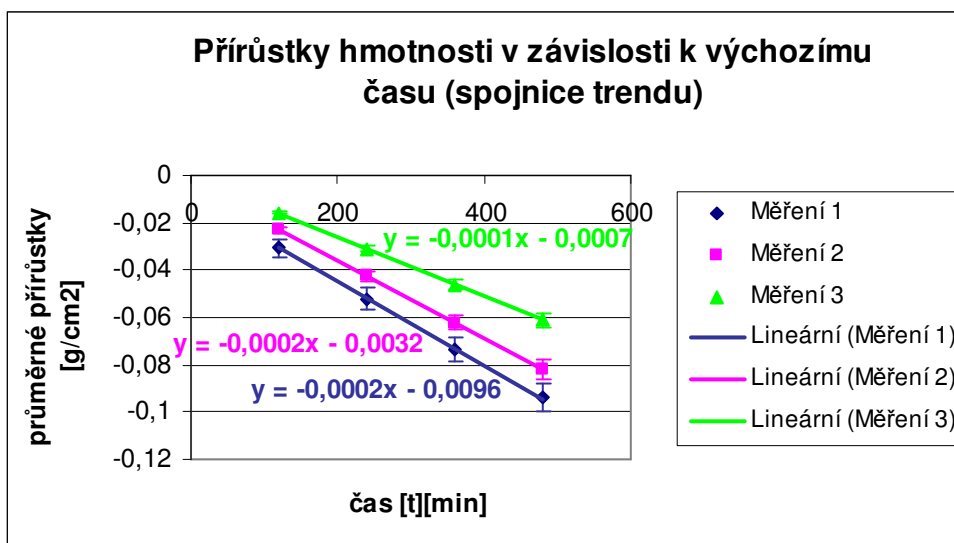
Kelímek disponuje kruhovým průřezem o průměru $d = 6,6 \text{ cm}$. Tímto kruhovým průřezem procházela vodní pára. Výsledná plocha, která je vystavována vodní páře, činí $34,212 \text{ cm}^2$. Ke zjišťování hmotnosti byly použity váhy s rozsahem do 1000 g, s přesností 0,01 g. Také pro tuto metodu byla jako kapalina použita destilovaná voda, která nahradila pot. Pro srovnání jednotlivých gravimetrických metod byly použity stejné parametry jednotlivých měření jako u gravimetrické metody I, viz. tabulka č. 5.

Jak se změnila hmotnost zkoušených vzorků včetně kelímku, vody, gumičky a oděvní soustavy, za daný časový interval, ukazuje graf č. 8.

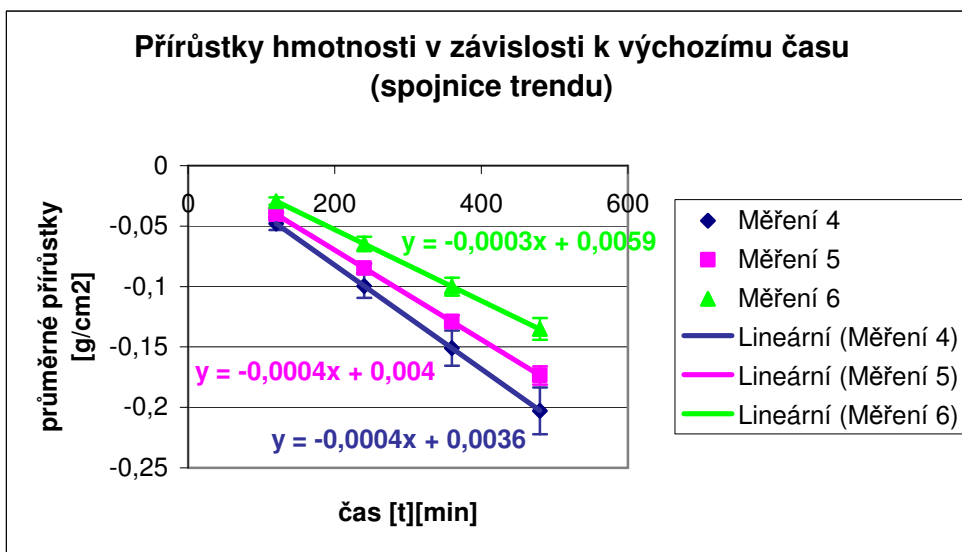


Graf 8 - Změna hmotnosti vzorku za daný časový interval III

Detailnější přehled změny hmotnosti vzorku v závislosti na výchozím čase ukazuje graf č. 9 a č. 10.



Graf 9 - Spojnice trendu V



Graf 10 - Spojnice trendu VI

Jednotlivé úbytky hmotnosti jsou vztaženy na plochu $34,212 \text{ cm}^2$. Výsledky této metody byly prakticky totožné s předcházející metodou. Opět se potvrdilo, že zvýšení teploty a snížení relativní vlhkosti má za následek větší

úbytky hmotnosti jednotlivých vzorků a naopak. V této převrácené gravimetrické metodě byly jednotlivé vzorky vystaveny větší výparné ploše, proto byly zaznamenány větší úbytky hmotnosti jednotlivých vzorků než v předcházející metodě. Dá se konstatovat, že gravimetrická metoda II potvrdila závěry z gravimetrické metody I a eliminovala vzduchovou mezeru mezi textilií a vodou a tím vyloučila nepřesnost měření.

7.3 Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin

Metoda byla vybrána, protože se zabývá kapalinami. Může lépe simulovat přítomnost potu i v kapalně formě, pokud se hasič rychle zpotí a pot zkapalní. Tato metoda se vztahuje na normu ČSN EN ISO 6530 [31], která nahrazuje normu ČSN EN 368 (832731) - Zkouška penetrace kapalnými chemikáliemi. Norma je primárně určena pro zkoušení nebezpečných chemikálií. V této zkoušce je norma použita jako základ pro princip měření. Cílem zkoušky bylo stanovit množství kapaliny, která pronikne skrz zkoušený materiál. Stanovením množství aplikované kapaliny, která pronikla vzorkem, a která byla odpuzena jeho povrchem vyjadřuje vhodnost materiálu pro uvažovanou oblast použití.

Místnost, kde se prováděla zkouška byla klimatizovaná. Teplota místnosti byla 22 °C a vlhkost vzduchu místnosti byla 26 %. Opět bylo připraveno 7 vzorků, kde každý vzorek se skládal ze tří vrstev, tj. z podšívky, membrány a vrchní vrstvy. Každá vrstva měla čtvercové rozměry o straně $a = 11 \text{ cm}$. Plocha jedné vrstvy vzorku činí 121 cm^2 . Ke zjišťování hmotnosti byly použity váhy s rozsahem do 1000 g, s přesností 0,01 g. Také pro tuto metodu byla jako kapalina použita destilovaná voda, která nahradila pot. Destilovaná voda o objemu 10 ml byla aplikována pomocí injekční stříkačky na podšívku po dobu 10 s. Tímto byla docílena simulace kapalného potu. Pokud by byla kapalina aplikována na vrchní vrstvu, jednalo by se o zkoušení kapalin zvenčí, např. pro kapalně chemikálie.

Nejdříve byla zvážena každá vrstva a nakonec i celá oděvní soustava, viz. tabulka č. 8.

Tabulka 8 – Hmotnost jednotlivých vrstev [g]

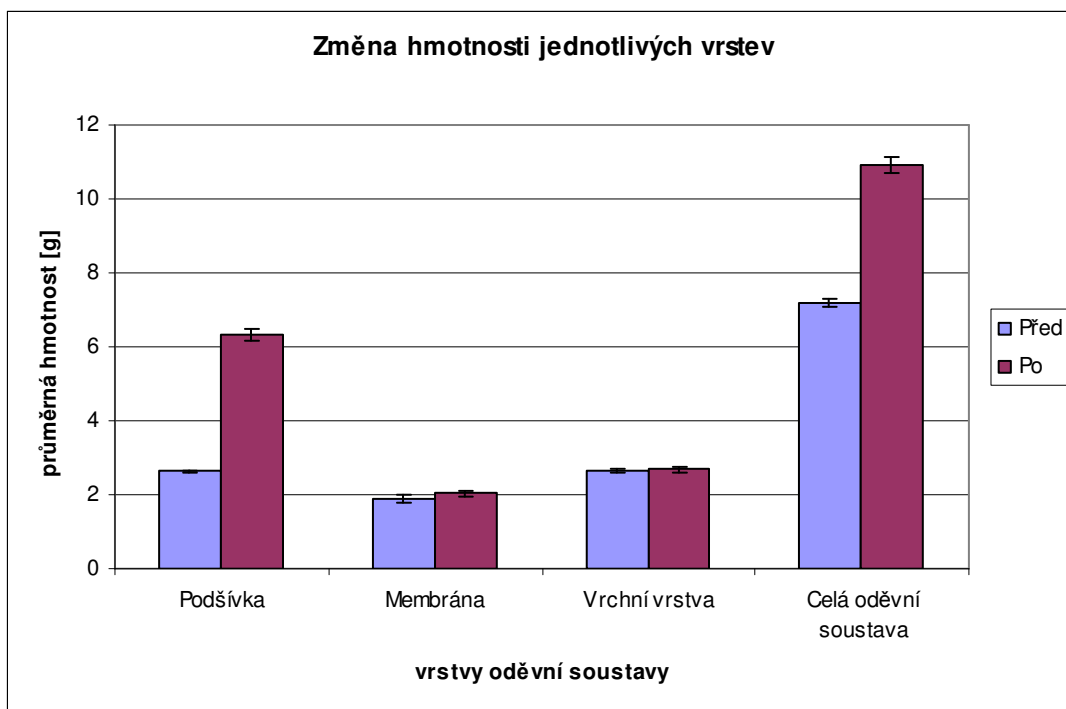
Měření	Podšívka	Membrána	Vrchní vrstva	Celá soustava
1	2,64	1,77	2,64	7,09
2	2,62	2,12	2,70	7,42
3	2,61	1,90	2,55	7,12
4	2,66	1,74	2,73	7,14
5	2,64	1,96	2,64	7,23
6	2,63	1,92	2,72	7,29
7	2,63	1,87	2,49	7,02
Průměrná hodnota [g]	2,63	1,90	2,64	7,19
Horní mez [g]	2,64	1,99	2,71	7,29
Dolní mez [g]	2,62	1,80	2,57	7,09

Poté byly jednotlivé vzorky postupně umístěny do polokruhového žlabu o vnitřním průměru 125 mm, délce 160 mm a sklonu 45°. Poklop polokruhového tvaru měl za úkol udržet těsný kontakt mezi jednotlivými vrstvami. Injekční stříkačkou byla na podšívku vytlačována zkušební kapalina o objemu 10 ml po dobu 10 s. Po 60 s se poklepal žlab, aby skapaly kapky do kádinky. Následně se zvažila kádinka a jednotlivé vrstvy. Jak se změnila hmotnost zkoušených vzorků ukazuje tabulka č. 9.

Tabulka 9 – Změna hmotnosti jednotlivých vrstev [g]

Měření	Podšívka	Membrána	Vrchní vrstva	Celá soustava
1	6,49	1,98	2,68	11,04
2	6,22	2,25	2,74	11,14
3	6,30	2,04	2,62	10,88
4	6,10	1,85	2,82	10,63
5	6,06	2,07	2,66	10,70
6	6,64	2,07	2,78	11,38
7	6,34	2,00	2,53	10,73
Průměrná hodnota [g]	6,31	2,04	2,69	10,93
Horní mez [g]	6,46	2,13	2,76	11,13
Dolní mez [g]	6,15	1,95	2,62	10,73

Z následujícího grafu č. 11 je patrné, že kapalina aplikovaná na podšívku prokázala její hydrofilní předpoklady. Podšívka nasákla vodu a okamžitě ji propustila na membránu. Předpoklad polopropustné membrány nebyl zcela naplněn. Membrána na vrchní vrstvu propustila jen malé množství kapaliny. Voda přes membránu neprošla v požadovaném množství na vrchní vrstvu, ale ztekla do kádinky. Nebyla naplněna očekávání vkládaná do zkoušky. Metoda je pro měření prostupu vlhkosti přes vrstvený materiál neúčinná, protože byl prokázán neefektivní průchod kapaliny plochou membrány směrem od pokožky. Je tedy vhodné uvažovat pouze pot v podobě páry. Pokud by se při vysoké pracovní zátěži pot odváděl již v kapalně formě, je přenos účinný pouze na podšívku a nikoli celou konstrukcí oděvu. V takových případech by mohl být problém s nebezpečným zahříváním zasahujícího hasiče.



Graf 11 – Změna hmotnosti jednotlivých vrstev

Aby pro toto měření byla tato metoda účinná, musela by se modifikovat.

7.4 Zhodnocení a modifikace metod

7.4.1 Gravimetrická metoda I

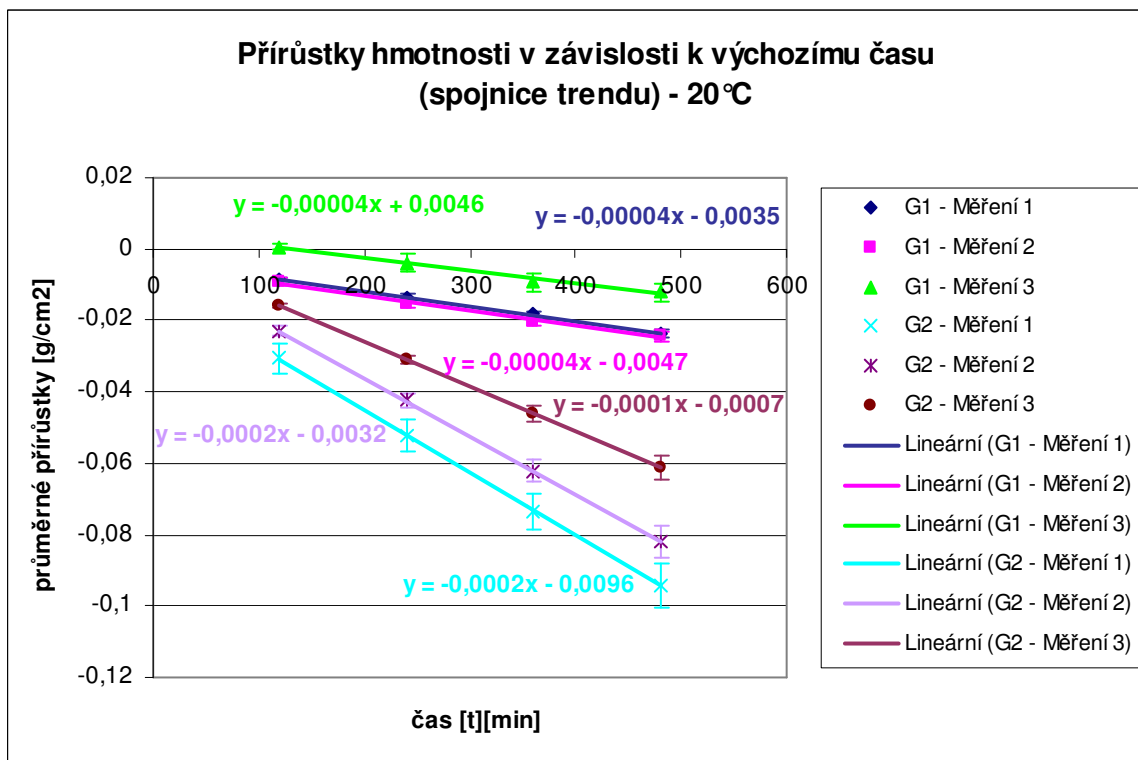
Norma ČSN 77 0332 [29] pracuje s maximální teplotou 35 °C, kterou je vhodné modifikovat na dříve zmíněnou teplotu 40 °C, aby bylo docíleno podmínek hasiče při jeho zásahu. Norma dále pracuje s vysokými parametry relativní vlhkosti, které by bylo vhodné modifikovat na 30 %, 45 % a 60 %, aby se zvýšil rozdíl parciálních tlaků na obou stranách vzorku a tím stoupla citlivost měření. I přes nepřesnost měření, z důvodu vzduchové vrstvy, byla gravimetrická metoda podle normy ČSN 77 0332 [29] pro tato měření účinná. Veškeré výsledky odpovídají teoretickým předpokladům.

7.4.2 Gravimetrická metoda II

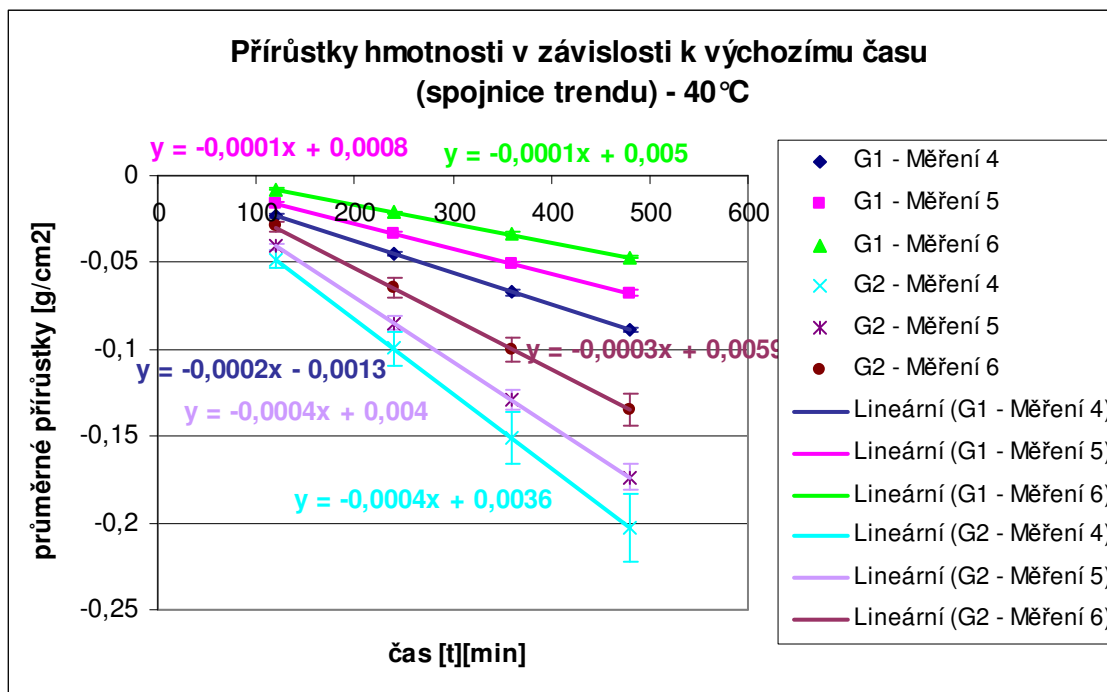
Jak už bylo zmíněno dříve, nepřesnost gravimetrické metody I měla být omezena v gravimetrické metodě II převrácenou gravimetrickou metodou a tím eliminací vzduchové vrstvy mezi textilií a vodní hladinou. Tato metoda byla pro tato měření účinná. Veškeré výsledky odpovídají teoretickým předpokladům. Navíc výsledky gravimetrické metody II potvrdily výsledky gravimetrické metody I a naopak.

7.4.3 Srovnání gravimetrické metody I a gravimetrické metody II

Z výsledků měření, které nejlépe ukazují grafy č. 12 a č. 13, kde jsou porovnány gravimetrické metody I a II, lze dojít k závěru, že trend jednotlivých metod měření je odlišný. Rychlost vypařování kapaliny je u gravimetrické metody I rychlejší, než u gravimetrické metody II. Tento fakt je způsobený tím, že u gravimetrické metody I je zaznamenán negativní vliv vzduchové mezery mezi textilií a vodní hladinou, která jak už bylo zmíněno dříve, zpomaluje vypařování. Resp. jestliže se vzduchová mezera nevyskytuje u gravimetrické metody II, dochází k rychlejšímu vypařování kapaliny.



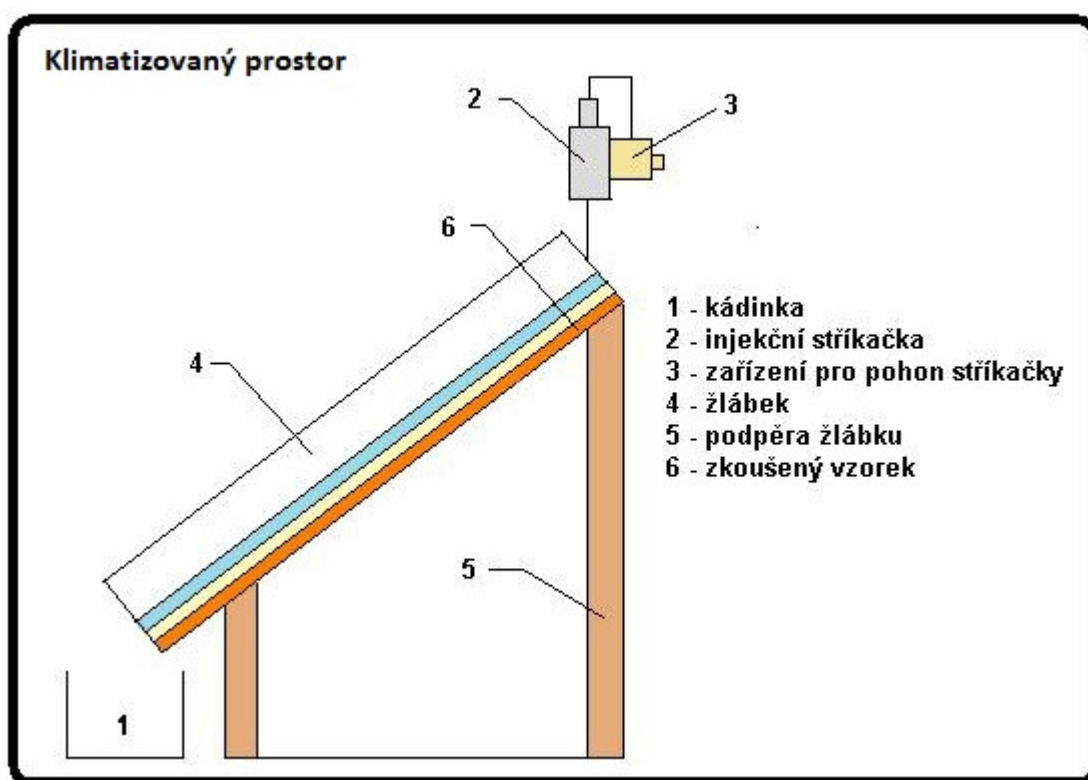
Graf 12 - Porovnání gravimetrické metody I a II - 1 (G1 = Gravimetrická metoda I, G2 = Gravimetrická metoda 2)



Graf 13 - Porovnání gravimetrické metody I a II - 2 (G1 = Gravimetrická metoda I, G2 = Gravimetrická metoda 2)

7.4.4 Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin

Aby pro měření složených vrstev byla tato metoda efektivnější, musela by se modifikovat. K polokruhovému žlabu by bylo připevněno zařízení, které by bylo schopno samo dodávat objem zkušební kapaliny přes injekční stříkačku. Celý komplet by byl poté umístěn do klimatizační skříně na požadovanou teplotu a vlhkost, aby byly simulovány podmínky hasiče při jeho zásahu, viz. obrázek č. 17. Jak už bylo zmíněno dříve, tělesná teplota organismu je 36 – 37 °C. Povrch periferních částí těla je chladnější, než vnitřní orgány. Hasič je při zásahu vystaven vysokým tepelným podmínkám, ve kterých někdy nevydrží více jak 10 minut. Proto by bylo vhodné nastavit teplotu na 40 °C. Vlhkost by byla nastavena na 60 %.



Obrázek 18 - Modifikace metody

Tato metoda by mohla být efektivnější, pokud by se prodloužila doba kontaktu jednotlivých vrstev po aplikování zkušební kapaliny nebo samotná doba dávkování. Při zkoušení jednotlivých vzorků se vycházelo z normy ČSN EN ISO 6530 [31], kde se po aplikování kapaliny na zkušební vzorek ponechaly jednotlivé vrstvy v kontaktu po dobu 60 s a poté se opětovně zvážily. Pokud by se tato doba rozšířila na více jak 60 s, bylo by pravděpodobné, že by membrána získala potřebný čas pro transport vlhkosti na vrchní vrstvu.

Pokud se bude uvažovat spojení obou testovacích metod, využije se především klimatizační podmínky a časově delší trvání testu z gravimetrické metody a nakloněnou rovinu s principem aplikace z testování penetrace kapalin. Takto vhodně spojené obě normy mohou sloužit k výsledkům blíže skutečnému používání složeného materiálu pro hasičské zásahové obleky.

V rámci dalšího výzkumu je vhodné pokračovat testováním inovované metodiky a zaměřit se také na možnost simulace pohybu při testování. Je však potřeba dodržet klimatické podmínky a měřit v klimatizované komoře, takže jakýkoli přídatný simulátor pohybu bude muset být odolný zvýšené vlhkosti stejně jako samotná konstrukce stojanu. Podle toho je doporučeno nepoužívat kovové součásti, které podléhají korozi.

7.5 Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin a její modifikace uvedená do praxe

Z výsledků metody zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin byl zaveden předpoklad, že membrána potřebuje delší čas na transport vlhkosti. Metoda byla stejným způsobem zopakována. Čas 60 s, na který se odkazuje norma ČSN EN ISO 6530 [31], po který jsou jednotlivé vrstvy v kontaktu po aplikování zkušební kapaliny, byl rozšířen na 3 minuty.

Výsledek byl víceméně totožný jako u předchozího experimentu. Ani 3 minuty nestačily membráně, aby mohla transportovat vlhkost na vrchní vrstvu. Dále se dalo předpokládat, že zvýšení doby kontaktu jednotlivých vrstev o další dvě nebo tři minuty by bylo nevýznamné. Proto dalším pokusem bylo zvýšení této doby na 10 minut.

I po deseti minutách byly výsledky pořád víceméně stejné. Sice byl potvrzen předpoklad, že membrána potřebuje delší čas na transport vlhkosti, ale ani 10 minut nestačí k požadovanému přenesení množství vlhkosti. Ani touto modifikací nebyl naplněn předpoklad polopropustné membrány. Membrána i po delší době propustila na vrchní vrstvu jen malé množství kapaliny. Voda přes membránu opět neprošla v požadovaném množství na vrchní vrstvu, ale ztekla do kádinky. Tato metoda pro měření prostupu vlhkosti přes vrstvený materiál s hydrofobní membránou není příliš účinná, jelikož byl prokázán neefektivní průchod kapaliny plochou membrány směrem od pokožky. Metoda by ale mohla být vhodná pro materiál s hydrofilní membránou. K ověření tohoto předpokladu jsou ale potřeba další studie.

8 ZÁVĚR

V rámci této práce byl proveden rozbor na téma transportu vlhkosti a vodních par ve vrstvených materiálech. Materiál, který byl testován, byl zaslán firmou Deva F-M. Pro testování byly vybrány dvě metody, gravimetrická metoda a metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin.

U gravimetrické metody je podle normy ČSN EN ISO 6179 (804630) výsledkem počáteční zvýšení propustnosti a následný rovnovážný stav. Vyzkoušením této metody se dospělo k závěru, že zásadnější vliv na počáteční zvýšení prostupnosti a následné klesání má relativní vlhkost, než teplota. Gravimetrická metoda je odkazována na normu ČSN 77 0332, která pracuje s vysokými parametry relativní vlhkosti, které byly modifikovány na 30 %, 45 % a 60 %, tím bylo docíleno zvýšení rozdílu parciálních tlaků vodní páry na obou stranách vzorku a tím i zvýšení přesnosti měření.

Bylo tedy zjištěno, že největší vliv na úbytky hmotnosti má relativní vlhkost. Čím nižší vlhkost vzduchu, tím je výměna vlhkosti z kádinky do okolí rychlejší. Snížení teploty má za následek snížení úbytků hmotnosti. Čím vyšší teplota vzduchu, tím je výměna vlhkosti z kádinky do okolí rychlejší.

Nepřesnost měření je také ovlivňována vzduchovou mezerou mezi textilií a vodní hladinou. S rostoucím časem měření tloušťka vzduchové vrstvy roste, takže velmi propustná textilie, která zapříčiní větší tloušťku vzduchové vrstvy, se stane méně propustnou než je ve skutečnosti. I přes nepřesnost měření, z důvodu vzduchové vrstvy, byla gravimetrická metoda I podle normy ČSN 77 0332 pro tato měření účinná. Veškeré výsledky odpovídají teoretickým předpokladům.

Gravimetrická metoda I podle ČSN 77 0332 byla nahrazena gravimetrickou metodou II. Jednalo se o obrácenou gravimetrickou metodu. Tím bylo docíleno konstantní vodní hladiny ve vzdálenosti od testované textilie

a výparný odpor ze vzduchové mezery byl nahrazen nízkým výparným odporem z PTFE polopropustné folie, která je schopna zadržet vodu v kapalně formě a propouštět ji na textilií pouze ve formě páry. Tímto způsobem byla eliminována vzduchová mezera mezi textilií a vodní hladinou a byl urychlen proces vypařování kapaliny. Gravimetrická metoda II byla pro tato měření přesnější a její výsledky potvrdily výsledky z gravimetrické metody I.

Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin podle normy ČSN EN ISO 6530 bez pochybností prokázala hydrofilní předpoklady podšívky. Podšívka svoji roli plní velmi dobře. Odvádí kapalinu rychle a efektivně. Předpoklad polopropustné membrány nebyl zcela naplněn. Membrána na vrchní vrstvu propustila jen malé množství kapaliny. Voda přes membránu neprošla v požadovaném množství na vrchní vrstvu, ale ztekla do kádinky. Membrána potřebuje čas na transport vlhkosti (v plynné formě) v malých objemech svým povrchem. Byl zaveden předpoklad, že by metoda mohla být efektivnější, pokud by se prodloužila doba kontaktu jednotlivých vrstev po aplikování zkušební kapaliny nebo samotná doba dávkování. Tento předpoklad nebyl naplněn. Ani po 10 minutách membrána nepropustila na vrchní vrstvu požadované množství kapaliny. Tato metoda pro měření prostupu vlhkosti přes vrstvený materiál s hydrofobní membránou není příliš účinná, jelikož byl prokázán neefektivní průchod kapaliny plochou membrány směrem od pokožky. Metoda by ale mohla být vhodná pro materiál s hydrofilní membránou. K ověření tohoto předpokladu jsou ale potřeba další studie.

V rámci dalšího výzkumu je vhodné pokračovat testováním inovované metodiky a zaměřit se také na možnost simulace pohybu při testování. Je však potřeba dodržet klimatické podmínky a měřit v klimatizované komoře, takže jakýkoli přídatný simulátor pohybu bude muset být odolný zvýšené vlhkosti stejně jako samotná konstrukce stojanu. Podle toho je doporučeno nepoužívat kovové součásti, které podléhají korozi.

9 LITERATURA

1. ČERMÁKOVÁ, P. – *Mechanické vlastnosti textilních materiálů používaných pro pracovní ochranné oděvy pro hasiče a jejich změna po praní*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009
2. SDH Darkovice. *Rozdělení hasičů*. [online]. C2009 [cit. 2009-28-10]. Dostupný z <http://sdh-darkovice.cz>
3. Deva F-M. *Profil společnosti* [online]. c2009 [cit. 2009-27-10]. Dostupný z <http://www.deva-fm.cz>
4. Deva F-M. *Fireman Tiger* [online]. c2009 [cit. 2009-27-10]. Dostupný z <http://www.deva-fm.cz>
5. Deva F-M. *Tiger Plus* [online]. c2009 [cit. 2009-27-10]. Dostupný z <http://www.deva-fm.cz>
6. Du Pont. *History* [online]. c2010 [cit. 2010-04-01]. Dostupný z www.dupont.com
7. Gore. *About Gore* [online]. c2009 [cit. 2009-15-11]. Dostupný z <http://www.gore.com>
8. Sofileta. *Company* [online]. c2009 [cit. 2009-15-11]. Dostupný z <http://www.sofileta.com>
9. DVOŘÁK, O., ŠTEFKOVÁ, E., KOTINSKÝ, P. – *Ochranné oděvy pro hasiče: vlastnosti, zkoušení, praktické používání a certifikace*. Praha: Ministerstvo vnitra – generální ředitelství HZS ČR – příloha časopisu 150-Hoří, číslo 5/2002.
10. Nosek, M. – *Zkoušky ochranných oděvů pro hasiče a záchranáře*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005
11. Du Pont. *Nomex* [online]. c2010 [cit. 2010-04-01]. Dostupný z www.dupont.com
12. Du Pont. *Kevlar* [online]. c2010 [cit. 2010-04-01]. Dostupný z www.dupont.com
13. Gore-Tex. *Materiál GORE-TEX* [online]. c2009 [cit. 2009-28-10]. Dostupný z <http://www.gore-tex.cz>

14. Gami Sport. *Membrány GORE-TEX* [online]. c2009 [cit. 2009-28-10]. Dostupný z <http://www.gamisport.cz>
15. FEXA, J., ŠIROKÝ, K. – *Měření vlhkosti*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983. ISBN 04-601-83
16. RŮŽIČKOVÁ, D. – *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-682-2
17. MATUŠKA, T. – *Experimentální metody v technice prostředí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2005. ISBN 80-01-03291-4
18. STANĚK, J., KUBÍČKOVÁ, M. – *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1986. ISBN 55-813-86
19. HES, L., SLUKA, P. – *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0
20. ČSN 80 0855. Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií. 1976
21. ČSN EN 24920. Textilie. Stanovení odolnosti plošných textilií vůči povrchovému smáčení (skrápěcí metoda). 1994
22. ČSN EN 20811. Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody. 1994
23. ČSN EN 468. Ochranné oděvy – Ochrana proti kapalným chemikáliím – Zkušební metoda – Stanovení odolnosti vůči penetraci při postřiku (Spray test). 1996
24. KOVAČIČ, V. – *Textilní zkušebnictví, 1. díl*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-824-8
25. ČSN EN 31092: Textilie – Zjišťování termofyziologických vlastností – měření tepelného a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou). 1996
26. HES, L., TĚŠINOVÁ, P., ARCHALOUS, P. – *Imperfections of gravimetric methods for the measurement of water vapour permeability of fabrics*. Aachen Dresden International Textile Conference 2010.
27. KOZOVÁ, R. – *Ochranné oděvy a pomůcky pro hasiče a záchranáře*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009

28. WILHELM, Z., - *Stručný přehled fyziologie pro bakalářské studijní programy*, 3. vydání. MU Brno, 2005. ISBN 80-210-2837-8
29. ČSN 77 0332. Stanovení propustnosti tenkých plošných materiálů pro vodní páru gravimetrickou metodou. 1981
30. ČSN EN ISO 6179 (804630). Pryž a termoplastické eleastomery – Pryžové fólie a textilie provrstvené pryží – zjišťování propustnosti těkavých kapalin (gravimetrická metoda). 2001
31. ČSN EN ISO 6530. Ochranné oděvy – ochrana proti kapalným chemikáliím – metoda zkoušení odolnosti materiálů proti penetraci (pronikání) kapalin. 2005
32. HORROCKS, A., ANAND, S. – *Handbook of technical textiles*. Bolton, UK: CRC Press, Woodhead, 2000. ISBN 1 85573 385 4
33. CHYSKÝ, J. – *Vlhký vzduch*. Praha: SNTL, 1963. ISBN 04-006-63
34. HOLEMÁ, K. – *Vliv teploty a vlhkosti vzduchu na měření termofyziologických vlastností textilií pomocí skin modelu*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek č. 1 – Materiálová skladba hasičské uniformy
- Obrázek č. 2 – Struktura m-aramidu
- Obrázek č. 3 – Struktura p-aramidu
- Obrázek č. 4 – Struktura Polytetrafluorethylénu
- Obrázek č. 5 – Alifatický řetězec
- Obrázek č. 6 – Benzenové jádro (benzenový kruh)
- Obrázek č. 7 – Struktura vlákna Nomex
- Obrázek č. 8 – Materiál Gore-tex
- Obrázek č. 9 – Transport vlhkosti
- Obrázek č. 10 – Reverzibilita
- Obrázek č. 11 – Kapiární odvod vlhkosti
- Obrázek č. 12 – Migrační odvod vlhkosti
- Obrázek č. 13 – Difúzní odvod vlhkosti
- Obrázek č. 14 – Gravimetrická metoda měření propustnosti textilií pro vodní páry
- Obrázek č. 15 – Měřicí jednotka s kontrolou teploty a přívodem vody
- Obrázek č. 16 – Způsob měření vlhkosti na přístroji Alambeta
- Obrázek č. 17 – Teorie přenosu vlhkosti u gravimetrické metody I
- Obrázek č. 18 – Modifikace metody

SEZNAM TABULEK

- Tabulka č. 1 – Kolísání teplot jednotlivých orgánů
- Tabulka č. 2 – Hmotnost vláken
- Tabulka č. 3 – Hodnoty výparného odporu
- Tabulka č. 4 – Hustota potních žláz
- Tabulka č. 5 – Přehled parametrů pro jednotlivá měření I
- Tabulka č. 6 – Přehled parametrů pro jednotlivá měření II

- Tabulka č. 7 – Výsledné hodnoty propustnosti
- Tabulka č. 8 – Hmotnost jednotlivých vrstev
- Tabulka č. 9 – Změna hmotnosti jednotlivých vrstev

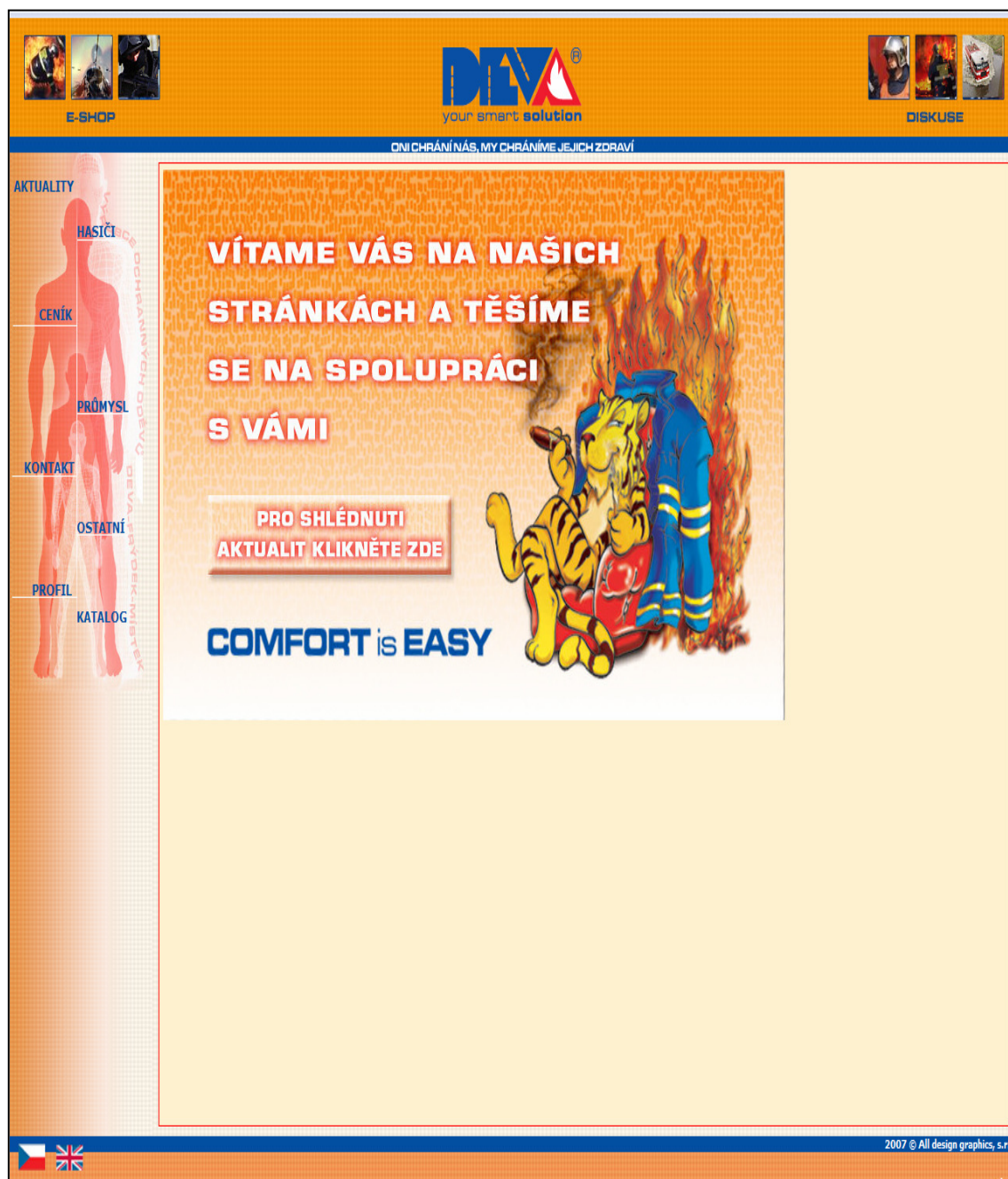
SEZNAM GRAFŮ

- Graf č. 1 – Změna hmotnosti vzorku za daný časový interval I
- Graf č. 2 – Změna hmotnosti vzorku za daný časový interval II
- Graf č. 3 – Spojnice trendu I
- Graf č. 4 – Spojnice trendu II
- Graf č. 5 – Spojnice trendu III
- Graf č. 6 – Spojnice trendu IV
- Graf č. 7 – Hodnoty propustnosti
- Graf č. 8 – Změna hmotnosti vzorku za daný časový interval III
- Graf č. 9 – Spojnice trendu V
- Graf č. 10 – Spojnice trendu VI
- Graf č. 11 – Změna hmotnosti jednotlivých vrstev
- Graf č. 12 – Porovnání gravimetrické metody I a II - 1
- Graf č. 13 – Porovnání gravimetrické metody I a II - 2

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 – Webové stránky Deva F-M
- Příloha č. 2 – Oblek Fireman Tiger
- Příloha č. 3 – Oblek Tiger Plus
- Příloha č. 4 – Webové stránky Du Pont
- Příloha č. 5 – Thermo-man
- Příloha č. 6 – Testované vzorky
- Příloha č. 7 – Gravimetrická metoda I

- Příloha č. 8 – Gravimetrická metoda II
- Příloha č. 9 – Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci
Kapalin
- Příloha č. 10 – Vrtulkový anemometr



Příloha č. 2 – Oblek Fireman Tiger



Příloha č. 3 – Oblek Tiger Plus

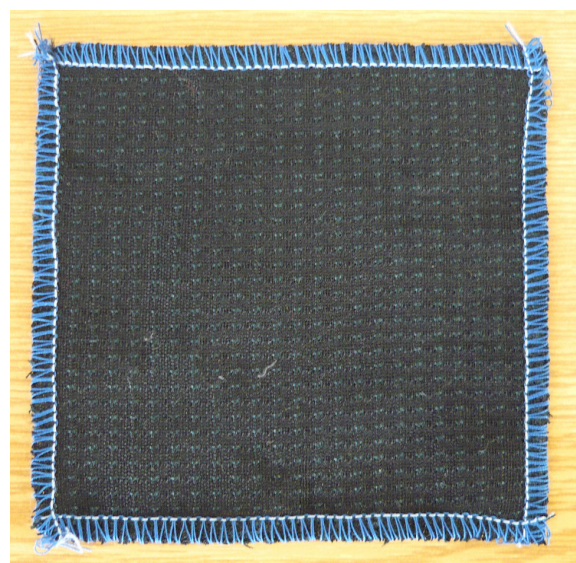
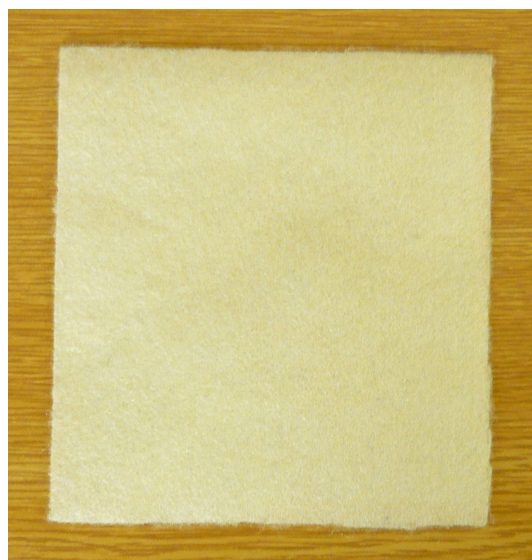
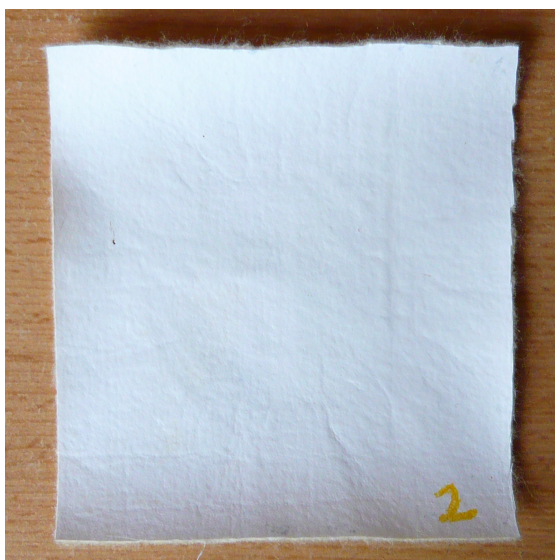


Příloha č. 4 – Webové stránky Du Pont





Příloha č. 6 – Testované vzorky



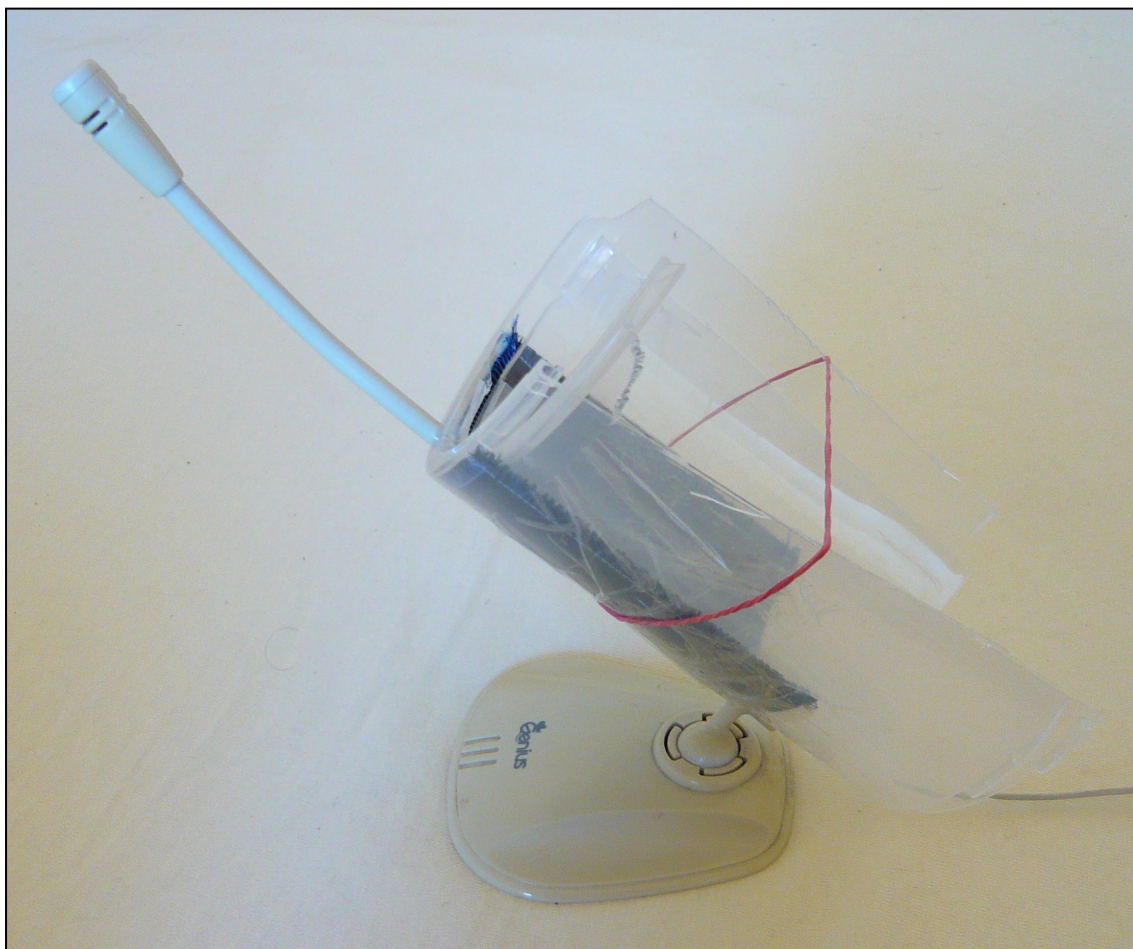
Příloha č. 7 – Gravimetrická metoda I



Příloha č. 8 – Gravimetrická metoda II



Příloha č. 9 – Metoda zkoušení odolnosti materiálu proti penetraci kapalin



Příloha č. 10 – Vrtulkový anemometr

